This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

UC-NRLF
$B 279 065

Das Wissen der Gegenwart
Deutsche Universal-Bibliothek für Gebildete.

Science

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Received JUN 24 1892 , 189

Accessions No. 48281 . Class No.

Wissenschaft vom Standpünkte der heutigen Forschung aus befriedigende Aufklärung, Belehrung und Anregung zu bieten, wird hiermit der allgemeinen Teilnahme empfohlen. Für unsere Sammlung ist vorläufig ein Umfang von zwei bis dreihundert Bänden in Aussicht genommen, **von denen jeder einzelne ein Ganzes für sich**, zugleich aber einen Baustein zu einem Gesamtgebäude bilden soll. Bei dem Plane des Unternehmens haben **wir** jene Zweiteilung, welche als herrschende unverkennbar durch die moderne Wissenschaft hindurchgeht, zum obersten Einteilungsgrunde gemacht. Die **Naturwissenschaften** und die **historischen Wissenschaften**, die gleichsam wie glücklich gelegene Inseln immer mehr fruchtbares Land ansetzen und selbst widerstrebende Disziplinen an sich heranziehen, werden, wie sie im Leben der modernen Wissenschaft selbst die Herrschaft angetreten haben, auch in unserem Werke, welches dieses Leben klar abspiegeln will, die beiden großen Hauptgruppen der systematischen Einteilung bilden. Die rein abstrakten Wissenschaften, welche eine dritte Gruppe bilden könnten, werden wir keineswegs aus unserem Werke ausscheiden, aber nicht sowohl vom dogmatischen als vom historischen Standpunkte aus beleuchten. Und dies aus dem Doppelgrunde, weil in einem Teil dieser Wissenschaften, wie z. B. in der Mathematik, ein anderes Wissen als ein durchaus vollständiges Fachwissen nicht denkbar ist, während in einem andern Teile, wie in der Metaphysik, positive Wahrheit nur insoweit, als es auf innere Geschichte ankommt, zu bieten ist.

Wir bemerken nur noch, daß wir die **Länder- und Völkerkunde**, die als selbständige Wissenschaft immer bedeutsamer hervortritt und die naturwissenschaftlichen und historischen Elemente in sich schließt, in unserem Plane deshalb der großen Gruppe der historischen Wissenschaften angereiht haben, weil der Hauptgesichtspunkt, von dem die Methode dieser Wissenschaften ausgeht, nämlich die territoriale Abgrenzung, ein historischer ist.

Inhalt der erschienenen Bände:

Bd. 1. **Gindely, A.,** Gesch. d. 30jähr. Krieges in drei Abteilgn. I. 1618—1621: Der böhm. Aufst. u. s. Bestrafung. 280 S. Mit 3 Doppelvollbild., 1 Vollbild u. 4 Portr. in Holzst.

Bd. 2. **Klein, Dr. Herm. J.,** Allgemeine Witterungskunde. 266 Seiten. Mit 6 Karten, 2 Vollbildern und 31 Abbildungen in Holzstich.

Bd. 3. **Gindely, A.,** Geschichte des 30jährigen Krieges in drei Abteilungen. II. 1622 bis 1632: Der niedersächsische, dänische und schwedische Krieg bis zum Tode Gustav Adolfs. 292 Seiten. Mit 10 Doppelvollbildern und 4 Porträts in Holzstich.

Bd. 4. **Taschenberg, Prof. Dr. E.,** Die Insekten nach ihrem Nutzen und Schaden. 304 Seiten. Mit 70 Abbildungen.

Bd. 5. **Gindely, A.,** Geschichte des 30jährigen Krieges in drei Abteilungen. III. 1633 bis 1648: Der schwedische und der schwedisch-französische Krieg bis zum westfälischen Frieden. 240 Seiten. Mit 9 Doppelvollbild. u. 3 Porträts in Holzstich.

Bd. 6. **Jung, Dr. Karl Emil,** Der Weltteil Australien. I. Abtlg.: Der Australkontinent und seine Bewohner. 280 Seiten. Mit 14 Vollbildern, 24 in den Text gedruckten Abbildungen und 2 Karten in Holzstich.

Bd. 7. **Taschenberg, Dr. Otto,** Die Verwandlungen der Tiere. 272 Seiten. Mit 88 Abbildungen.

Bd. 8. **Jung, Dr. Karl Emil,** Der Weltteil Australien. II. Abtlg.: I. Die Kolonien des Australkontinents u. Tasmanien. II. Melanesien (I. Teil). 312 Seiten. Mit 19 Vollbildern, 29 in den Text gedruckten Abbildungen und 6 Karten in Holzstich.

Bd. 9. **Klaar, Alfred,** Geschichte des modernen Dramas in Umrissen. 320 Seiten. Mit 9 Porträts in Holzstich.

Bd. 10. **Becker, Dr. Karl Emil,** Die Sonne und die Planeten. 308 S. Mit 68 Abbildungen.

Bd. 11. **Jung, Dr. E.,** Der Weltteil Australien. III. Abtlg.: I. Melanesien (II. T.). II. Polynesien (I. T.). 304 S. M. 27 Vollbildern u. 31 in d. Text gedruckt. Abbildgn.

Bd. 12. **Gerland, Dr. E.,** Licht und Wärme. 320 Seiten. Mit 4 Porträts und 126 Figuren in Holzstich.

Bd. 13. **Jung, Dr. Karl Emil,** Der Weltteil Australien. IV. Abtlg.: I. Polynesien (II. Teil). II. Neuseeland. III. Mikronesien. 276 Seiten. Mit 18 Vollbildern und 35 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 14. **Hartmann, Prof. Dr. R.,** I. Abyssinien und die übrigen Geb. d. Ostküste Afrikas. 312 S. M. 18 Vollbildern u. 63 i. d. Text gedruckt. Abbildgn.

Bd. 15. **Jung, Jul.,** Leben und Sitten der Römer in der Kaiserzeit I. 298 Seiten. Mit 9 Vollbildern und 70 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 16. **Peters, Prof. Dr. C. F. W.,** Die Fixsterne. 176 Seiten. Mit 69 Abbildungen.

Bd. 17. **Jung, Jul.,** Leben und Sitten der Römer in der Kaiserzeit II. 280 Seiten. Mit 10 Vollbildern und 63 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 18. **Schultz, Prof. Dr. A.,** Kunstgeschichte I. 284 Seiten. Mit 38 Vollbildern und 120 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 19. **Willkomm, Dr. Moritz,** Die pyrenäische Halbinsel I. 260 Seiten. Mit 26 Vollbildern und 14 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 20. **Lehmann, Paul,** Die Erde und der Mond. 280 Seiten. Mit 6 Vollbildern und 59 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 21. **Schultz, Prof. Dr. A.,** Kunst und Kunstgeschichte II. 262 Seiten. Mit 44 Vollbildern und 42 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 22. **Ochsenius, C.,** Chile. Land und Leute. 268 Seiten. 28 Vollbildern, 59 in den Text gedruckten Abbildungen und 2 Karten in Holzstich.

Bd. 23. **Meyer von Waldeck,** Rußland. Einrichtungen, Sitten und Gebräuche. 282 Seiten. Mit 27 Vollbildern und 51 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 24. **Hartmann, Prof. Dr. R.,** Die Nilländer. 224 Seiten. Mit 10 Vollbildern und 65 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 25. **Wirth, Max,** Das Geld. 224 Seiten. Mit 103 in den Text gedr. Abbildungen.

Bd. 26. **Hopp, E. O.,** Gesch. d. Verein. Staaten v. Nord-Amerika. I. 232 S. Mit 50 in den Text gedr. Abbild. u. Karten.

Bd. 27. **Valentiner,** Kometen und Meteore. 250 Seiten. Mit 62 in den Text gedr. Abbildungen.

Bd. 28. **Waßmuth, Prof. A.,** Die Elektrizität und ihre Anwendung. 196 Seiten. Mit 119 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 29. **Falkenstein, Dr. J.,** Afrikas Westküste. 252 Seiten. Mit 81 in den Text gedr. Abbild.

Bd. 30. **Geschichte des Kunstgewerbes. I. Blümner, Prof. Dr. H.,** Das Kunstgewerbe im Altertum. 276 Seiten. Mit 133 in den Text gedr. Abbildungen.

Bd. 31. **Willkomm, Dr. M.,** Die pyrenäische Halbinsel. II. 252 Seiten. Mit 11 Vollbild. und 27 in den Text gedr. Abbildungen.

Bd. 32. **Geschichte des Kunstgewerbes. II. Blümner, Prof. Dr. H.,** Das Kunstgewerbe im Altertum 242 Seiten. Mit 143 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 33. **Geschichte des Kunstgewerbes. III. Schorn, Dr. Otto von,** Die Textilkunst. 268 Seiten. Mit 132 in den Text gedruckten Abbildungen.

Inhalt der erschienenen Bände:

Bd. 34. **Fritsch, Dr. Gustav,** Südafrika bis zum Zambesi. I. 244 S. Mit 50 in den Text gedr. Abb. u. 1 Karte.

Bd. 35. **Lippert, Jul.,** Allgemeine Kulturgeschichte. I. 252 Seiten. Mit 57 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 36 u. 37. **Sellin, A. W.,** Das Kaisereich Brasilien. 2 Abteilungen. 490 Seiten. Mit 23 Vollbildern, 66 in den Text gedruckten Abbildungen und 5 Karten.

Bd. 38. **Hansen, Dr. Adolf,** Die Ernährung der Pflanzen. 272 Seiten. Mit 74 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 39. **Hopp, E. O.,** Geschichte der Vereinigten Staaten. II. 224 Seiten. Mit 32 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 40. **Geschichte der Malerei** in Einzeldarstellungen. I.: **Wurzbach, Dr. A. v.,** Geschichte der holländischen Malerei. 236 Seiten. Mit 71 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 41. **Taschenberg, Dr. Otto,** Bilder aus dem Tierleben. 236 Seiten. Mit 86 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 42. **Brosien, Dr. Herm.,** Karl der Große. 192 Seiten. Mit 23 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 43. **Willkomm, Dr. M.,** Die pyrenäische Halbinsel. III. 268 Seiten. Mit 45 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 44 u. 45. **Graber, Prof. Dr. V.,** Die äußeren mechanischen Werkzeuge der Tiere. In 2 Abteilungen. 464 Seiten. Mit 315 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 46. **Hopp, Ernst Otto,** Geschichte der Vereinigten Staaten von Nordamerika. III. (Schluß). 276 Seiten. Mit 40 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 47. **Lippert, Jul.,** Allgemeine Kulturgeschichte. II. 212 Seiten. Mit 5 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 48. **Lippert, Jul.,** Allgemeine Kulturgeschichte. III. 232 Seiten. Mit mehreren in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 49. **Meyer von Waldeck,** Rußland. Einrichtungen, Sitten und Gebräuche. II. 236 Seiten. Mit 18 Vollbildern und 31 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 50. **Fournier, Prof. Dr. Aug.,** Napoleon I. Eine Biographie. I. 240 Seiten. Mit einem Porträt.

Bd. 51. **Elsas, Dr. A.,** Der Schall. Eine Darstellung der physikalischen Akustik für musikalisch Gebildete. 216 Seiten. Mit 80 Abbildungen und einem Porträt.

Bd. 52. **Krümmel, Prof. Dr. Otto,** Der Ocean. Eine Einführung in die allgemeine Meereskunde. 250 Seiten. Mit 77 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 53. **Egli, Prof. Dr. J. J.,** Die Schweiz. 218 Seiten. Mit 48 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 54. **Behaghel, Prof. Dr. Otto,** Die deutsche Sprache. 200 Seiten.

Bd. 55 u. 56. **Schasler, Dr. Max,** Ästhetik. Grundzüge der Wissenschaft des Schönen und der Kunst. In 2 Teilen. 522 Seiten.

Bd. 57. **Hartmann, Prof. Dr. R.,** Madagaskar und die Inseln Seychellen, Aldabrá, Komoren und Maskarenen. 160 Seiten. Mit 51 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 58. **Löwenberg, Fr.,** Die Entdeckungs- und Forschungsreisen in den beiden Polarzonen. 200 Seiten. Mit 8 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 59. **Detlefsen, Dr. Emil,** Wie bildet die Pflanze Wurzel, Blatt und Blüte. 266 S. Mit 95 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 60. **Blümner, Prof. Dr. H.,** Leben und Sitten der Griechen. I. Abteilung. 204 S. Mit 92 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 61. **Brosien, Dr. Herm.,** Preußische Geschichte. I. Band. 254 Seiten. Mit 86 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 62. **Blümner, Prof. Dr. H.,** Leben und Sitten der Griechen. II. Abteilung. 192 S. Mit 56 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 63. **Blümner, Prof. Dr. H.,** Leben und Sitten der Griechen. III. Abteilung. 196 S. Mit 58 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 64. **Tchihatchef, P. de,** Klein-Asien. 196 Seiten. Mit 17 in den Text gedruckten Abbildungen.

Bd. 65. **Blümner** und **Schorn,** Geschichte des Kunstgewerbes. IV. Abtlg. Die Kunsterzeugnisse aus Thon und Glas. 224 Seiten. Mit 128 in den Text gedruckten Abbildungen.

Das Wissen der Gegenwart

Deutsche Universal-Bibliothek für Gebildete.

LXVI. Band.

Die Gesetze der Naturerscheinungen

von

A. Winner,
Professor an der Universität Berlin.

Mit 60 in den Text gedruckten Abbildungen.

Leipzig: G. Freytag. 1888. Wien u. Prag: F. Tempsky.

Q 158
P5

Alle Rechte vorbehalten!

Vorwort.

Das vorliegende Büchlein, im Jahre 1884 bereits geschrieben, ist ein Versuch, das Verständnis der verschiedenen Naturerscheinungen einem größeren Kreise zugänglich zu machen. Neben dem Bestreben, die Einheitlichkeit der Grundursachen aller uns zur Wahrnehmung gelangenden Veränderungen in der Natur hervorzuheben, hat den Verfasser der Wunsch geleitet, hauptsächlich die jetzt geltenden Anschauungen über chemische Veränderungen auseinander zu setzen. Es ist deshalb auch der weit überwiegende Raum des Buches der Erklärung chemischer Erscheinungen gewidmet. Dabei stellte sich die Notwendigkeit heraus, nicht nur allgemein die Ansichten über die Zusammensetzung der Stoffe aus Molekeln und Atomen zu entwickeln, sondern auf die Atomtheorie näher einzugehen und die chemische Schreibweise zu erklären. Hoffentlich ist es geglückt, zu zeigen, daß diese Schreibweise, welche uns im Anfange so fremdartig, fast abstoßend erscheint, so leicht verstanden werden kann, daß auch jeder Nichtchemiker, der an logisches Denken gewöhnt ist, sich ihrer bedienen könnte.

Berlin, Dezember 1887. V.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Über das Weſen des Stoffes	6
Allgemeine Geſetze, denen die Körper im Ruhezuſtande unterworfen ſind	14
Bewegung der Körper bei kontinuierlich wirkenden Kräften	28
Bewegung der Molekeln	34
Phyſikaliſche Erſcheinungen	55
Chemiſche Erſcheinungen	99
Beziehungen der Atomgewichte zu den Eigenſchaften der Elemente	159
Chemiſche Verbindungen	167
Zuſammenhang der chemiſchen und phyſikaliſchen Erſcheinungen	217
Regiſter	233

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA.

Einleitung.

Wie nach dem tausendjährigen geistigen Stillstand der Menschheit, den wir als Mittelalter bezeichnen, durch die mächtigen Erfolge einzelner ausgezeichneter Männer im „Zeitalter der Entdeckungen“ das Interesse für Länder- und Völkerkunde in den breitesten Schichten des Volkes angeregt und bis auf unsere Zeit lebendig erhalten worden ist, also hat in unseren Tagen, im „Zeitalter der Erfindungen“, die Erforschung der Naturgesetze und die Benutzung der Naturkräfte, welche alle unsere Lebensverhältnisse in kaum einem Jahrhundert von Grund aus umgestaltet hat, die Teilnahme aller Volksklassen für die Naturerkenntnis geweckt. Und sowohl durch stets neue Erfindungen wie durch möglichst klare Beschreibung derselben in populären Abhandlungen wird diese Teilnahme fort und fort wach erhalten.

Die Naturwissenschaften sind, wie allgemein bekannt, recht junge Wissenschaften, aber ebenso allgemein bekannt ist es, daß die Naturforschung die allerälteste Beschäftigung menschlichen Geistes gewesen ist und es sein mußte. Ist doch der Mensch durch seine ziemlich hilflose Stellung der Natur gegenüber schon in frühester Zeit darauf angewiesen worden, sich zu schützen gegen die seine Existenz bedrohenden Naturgewalten, also zu beobachten, wo und wann durch nicht alltägliche Ereignisse, wie Überschwemmung, Blitzschläge u. s. w. sein Dasein gefährdet war, um günstigere Orte zur Wohnstätte zu wählen, und wenn

solche nicht vorhanden waren, Schutzmaßregeln zu treffen gegen die ihm schädlichen Naturgewalten, deren Herannahen wenn möglich zu verhindern, oder doch wenigstens im Voraus zu erkennen, um ihnen nicht machtlos gegenüber zu stehen, oder ihnen entfliehen zu können.

Fragen wir nun, wie ist es möglich, daß der zum Erforschen der Natur gezwungene Mensch trotzdem in der Erkenntnis derselben viele Jahrhunderte hindurch nur geringe Fortschritte gemacht hat, daß die Naturforschung erst in den allerletzten Jahrhunderten zur Naturwissenschaft sich erhob, so finden wir den Grund einzig und allein in dem erst in neuerer Zeit gefundenen richtigen Wege der Naturbetrachtung.

Die alten Kulturvölker hielten die Beobachtung der ohne unser Hinzuthun sich vollziehenden Naturerscheinungen und das spekulative Nachdenken über dieselben für genügend, um die höchsten Probleme menschlicher Erkenntnis lösen zu können. Aber abgesehen davon, daß diese Erscheinungen fast stets sehr komplizierter Natur sind, erst durch das Zusammenwirken einer großen Zahl schwierig zu erforschender Ursachen hervorgebracht werden, bemühte man sich nicht einmal, diese Ursachen zu ergründen, vielmehr suchte man ohne jegliche sichere Grundlage sogleich das Gesetz der gesamten Weltordnung zu erfassen, glaubte namentlich das Wesen der belebten Natur, der Pflanzen- und Tierwelt, und vor allem des Menschen durch Nachdenken erforschen zu können.

So kam es denn, daß kaum eine einzige Naturerscheinung richtig gedeutet werden konnte, daß die Naturbetrachtung höchst oberflächlich blieb und die abenteuerlichsten Hypothesen zur Erklärung der natürlichen Vorgänge aufgestellt wurden. Erst sehr spät und anfangs schüchtern, vielfach vom rechten Wege abweichend und in verworrenen Irrgängen sich verlierend, gelangte man dazu, die Beantwortung der Fragen nach dem Wesen des Menschen und den Ursachen seiner geistigen Kräfte, der Fragen nach dem weltenordnenden Prinzip und dergleichen, späteren

Zeiten zu überlassen, zunächst die Ursachen der einfachsten Naturerscheinungen dadurch aufzusuchen, daß man die Bedingungen für deren Entstehung und damit die Erscheinungen selbst hervorzurufen bestrebt war, daß man also die natürlichen Vorgänge im kleinen nachzuahmen suchte, und sammelte so mit Hilfe des Experiments, nicht durch bloße Beobachtung der ohne unser Hinzuthun täglich eintretenden Naturereignisse vorerst eine große Reihe von unwiderleglichen Thatsachen, zwischen denen man nach und nach den Zusammenhang erkannte, und gelangte auf diesem Wege schneller als man erwarten konnte zu Resultaten, welche in überraschendster und doch klarster Weise nicht nur das Wesen der gewaltigen Naturkräfte uns enthüllten, sondern vor Allem uns lehrten, diese Kräfte in früher kaum vom kühnsten Denker geahnter Form unseren Zwecken dienstbar zu machen. So gewährte denn die in die rechten Bahnen geleitete Naturerforschung nicht nur das höchste Interesse, nicht nur die höchste Befriedigung der dem Menschen angeborenen Wißbegierde, sondern auch den höchsten Lohn durch völlige Umgestaltung seiner Lebensbedingungen. Und wenn wir bedenken, daß wir uns eigentlich am Anfange der Naturerkenntnis befinden, daß durch jede Lösung irgend eines Problems sofort neue Probleme angeregt werden, deren Lösung spätern Zeiten vorbehalten ist, so eröffnet sich uns die frohe Perspektive, daß das Menschengeschlecht sowohl an geistiger Entwickelung wie an leiblichem Wohlbehagen vorschreitet, sich geistig und leiblich fort und fort veredelt.

Sehr bald, nachdem man den richtigen Weg zur Erkenntnis der Naturerscheinungen eingeschlagen hatte, nachdem man erkannt hatte, daß nicht Nachdenken allein, die Spekulation, fähig ist, die Gründe der in der Natur stetig sich vollziehenden Änderungen aufzufinden, sondern daß lediglich das Experiment diesem Ziel uns zu nähern vermag, hat auch unsere gesamte Naturanschauung sich umgestaltet, haben unsere Vorstellungen über das Wesen der Natur und deren Veränderungen eine andere Grundlage angenommen.

Denn bei demjenigen Kulturvolke, dessen Naturanschauung wir genauer kennen, und das die Entwickelung des Menschengeschlechts während des gesamten Mittelalters in allen Zweigen menschlichen Wissens ausschließlich beeinflußt hat, bei den Griechen, finden wir in der allgemeinen Naturbetrachtung fast stets den Grundfehler wiederkehrend, daß die Naturdinge an sich, d. h. mit einem kurzen Wort ausgedrückt, nur die Materie, der Stoff und seine verschiedenen Erscheinungsformen berücksichtigt, dagegen die dem Stoff innewohnenden Kräfte, welche die Verschiedenheit der Erscheinungsformen bewirken, als unwesentlich kaum in Betracht gezogen wurden. Und eine Folge dieser irrigen Anschauungsweise war, daß Aristoteles unter seinen vier Elementen, von denen die drei ersten als die drei Aggregatzustände, also die auffälligsten Erscheinungsformen der Stoffe betrachtet werden können (Erde, Wasser, Luft)*), auch das Feuer, welches nach unseren heutigen Anschauungen in gar keiner Beziehung steht zu den drei anderen, als gleichberechtigten stofflichen Zustand hingestellt hat. Freilich sollten die vier Elemente des Aristoteles nicht die Aggregatzustände des Stoffes im jetzigen Sinne des Wortes ausdrücken, da außer der Luft (und Wasserdampf) keine gasförmigen Körper bekannt waren, und der gasförmige Zustand der Stoffe nicht klar erfaßt werden konnte. Vielmehr sollten dieselben nur die vier leicht wahrnehmbaren Eigenschaften der Körper, „trocken, naß, kalt, warm" versinnbildlichen. Einem jeden der vier Elemente kommen zwei dieser Grundeigenschaften zu, und zwar ist die Erde der Repräsentant des Trocknen und Kalten, das Wasser der des Nassen und Kalten, die Luft (mit dem Dampf) der des Nassen und Warmen, das Feuer endlich der des Trockenen und Warmen. Immerhin ist aber die Gleichstellung von „Feuer" mit „Erde, Wasser, Luft" bezeichnend für die Grundanschauung der Alten über die Natur. Die Materie an sich, die Urmaterie, so ist die Anschauung der Griechen, sei

*) Erde = fester, Wasser = flüssiger, Luft = gasförmiger Aggregatzustand.

eigenschaftslos, erst durch die Eigenschaften wird die Materie zu unterscheidbaren Körpern. Da aber die Eigenschaften der Körper sich ändern können, so sei es möglich, daß aus irgend einem Körper irgend ein anderer entstehe. So z. B. sagt Plinius, der uns den gesamten Wissensschatz der Alten über die Natur überliefert, es sei unzweifelhaft, daß das Wasser durch Erwärmen in Luft verwandelt werde, ebenso verwandle sich die Luft in Wasser, wenn es kalt wird. Der Bergkrystall sei nichts anderes als Eis, aber bei so großer Kälte entstanden, daß er durch Erhitzen nicht mehr zum Schmelzen gebracht werden könne. Was Wunder also, daß eine so große Summe menschlicher Geistesthätigkeit während des Mittelalters und sogar bis tief in das vergangene Jahrhundert hinein nutzlos verbraucht worden ist in dem Suchen nach der Umwandlung der verschiedensten Körper in Gold.

Eine Folge dieser irrigen Weltanschauung war ferner, daß die epikuräische Schule in konsequenter Durchführung ihrer materialistischen Naturauffassung gezwungen worden ist, auch das Licht, den Schall ꝛc., sogar den Geist, die Denkkraft des Menschen geradezu als stoffliche Massen zu betrachten.

Gerade die Untersuchung der Bedingungen, unter welchen eine Veränderung in der Erscheinung irgend eines Körpers eintritt, und der Ursachen, welche diese Veränderung bewirken, d. h. der Kräfte, welche hierbei thätig sind, hat unsere Naturanschauung in hohem Maße geläutert. Wie die Materie ohne Eigenschaften undenkbar ist, wie andererseits irgend eine Eigenschaft ohne den Körper, der sie besitzt, nicht klar erfaßt werden kann, so müssen wir die Materie mit Kräften begabt uns vorstellen, welche dieselbe in ihrem Zustande zu verändern vermögen. Weder die Materie ohne die ihr innewohnenden Kräfte, noch die Kräfte ohne die Materie, an welcher sie zur Wirkung kommen können, sind gesondert für sich denkbar, gemeinschaftlich sind sie die zwei untrennbaren Attribute der allmächtigen Natur, wie bereits vor zwei Jahrhunderten Spinoza klar es ausgesprochen hat.

Über das Wesen des Stoffes.

Alle unsere Erfahrungen über das Wesen des Stoffes zwingen uns zu der Annahme, daß ein jeder Körper, er mag sonst wie immer beschaffen sein, nicht eine ununterbrochene Masse bilden kann, wir könnten uns aldann weder die Teilung der Stoffe, noch ihre Ausdehnung durch Erwärmen oder Zusammenziehung durch Abkühlen ꝛc. erklären. Vielmehr sind wir genöthigt anzunehmen, ein jeder Stoff bestehe aus sehr kleinen, von einander getrennten Teilchen, die als Massenteilchen bezeichnet werden. Der technische Name für Massenteilchen ist das Deminutiv von moles (Masse), molecula, welchen wir zu Molekel (wie Partikel von particula) germanisieren können. Der erste Satz ist also zu fassen: Ein jeglicher Stoff besteht aus von einander durch Zwischenräume getrennten Molekeln. Unsere Hilfsmittel erlauben uns freilich nicht, die Molekeln direkt beobachten zu können, so daß wir über ihre Gestalt völlig im Dunkeln uns befinden; wir sind sogar zu der Annahme genötigt, daß die Molekeln so äußerst klein sind, daß wir niemals, etwa durch Verbesserung der Mikroskope, dahin gelangen werden, diese Massenteilchen zur materiellen Anschauung zu bringen. Jedoch ist die Form der Molekeln für alle unsere Betrachtungen völlig belanglos.

Ebenso wissen wir über die absolute Größe der Molekeln nichts Sicheres. Man hat zwar die verschiedensten Spekulationen darüber angestellt, aber bei der geringen Sicherheit der Voraussetzungen, von denen diese Spekulationen ausgehen, wollen wir

dieſelben unberückſichtigt laſſen. Wie klein aber die Molekeln gedacht werden müſſen, davon möge das folgende häufig gebrauchte Gleichnis eine Anſchauung geben. Denken wir uns irgend einen Körper von der Größe einer Erbſe, z. B. ein Glaskügelchen, ſo ſehr vergrößert, daß das Kügelchen ſchließlich den Umfang unſerer Erdkugel erreichte, alsdann würden die einzelnen Glasmolekeln die Größe einer Erbſe beſitzen.

Wenn wir einen Körper zerteilen, dann trennen wir die Stoffmolekeln von einander. Die einzelnen Teile eines Körpers beſitzen nicht mehr die Geſtalt, wohl aber alle Eigenſchaften des nicht geteilten Körpers. Unſere mechaniſchen Mittel reichen natürlich bei weitem nicht hin, einen Körper bis zu den Molekeln zu ſpalten, das feinſte Pulver, das wir von einem feſten Körper, die feinſten Tröpfchen, die wir von einer verſtäubten Flüſſigkeit erhalten können, erſcheinen unter einem ſtark vergrößernden Mikroſkop als grobkörnige Maſſe oder als große Tropfen, deren weitere Teilbarkeit uns ſofort möglich erſcheint. Da nun auch im feinſt verteilten Zuſtande die Stoffe ihre weſentlichen Eigenſchaften behalten, ſo ſind wir berechtigt anzunehmen, daß auch die unendlich kleinſten Teilchen, d. h. aber nichts anderes als daß jede einzelne Molekel z. B. des Glaſes, des Waſſers, des Eiſens, des Queckſilbers u. ſ. f. auch die weſentlichen Eigenſchaften von Glas, Waſſer, Eiſen, Queckſilber beſitzen muß. Sind nun die Molekeln ſelbſt noch teilbar? Da wir die Molekeln als die kleinſten Teilchen, aus denen irgend ein Stoff beſteht, aufzufaſſen haben, ſo iſt die ſelbſtverſtändliche Antwort auf obige Frage: die Molekeln ſind nicht mehr teilbar, und man hat ſie früher deshalb Atome (von dem griechiſchen Wort atomos „unteilbar“ abgeleitet) genannt. Allein wie wir ſpäter ſehen werden, ſind auch die Molekeln nicht einfache homogene Maſſenteilchen, ſondern beſtehen faſt ſtets aus noch kleineren Partikelchen, welche aber nicht mehr die Eigenſchaften beſitzen, die wir an dem betreffenden Stoff wahrnehmen. Die Glasmolekeln z. B. beſtehen aus einer ziemlich großen Zahl

noch kleinerer Partikelchen, die jedoch nicht mehr die Eigenschaften des Glases besitzen, die wir auch in freiem Zustande nicht darzustellen vermögen. Wohl besitzen wir, wie später gezeigt werden soll, eine beträchtliche Zahl von Hilfsmitteln, um die Glasmolekeln zu zerteilen, aber in demselben Augenblick, in welchem die Zerteilung geschieht, vereinigen sich die Partikelchen in anderer Weise mit einander und wir erhalten wieder aus dergleichen Partikelchen zusammengesetzte Molekeln von ganz anderen Eigenschaften als die Glasmolekeln waren, d. h. wir erhalten aus dem Glase eine Reihe anderer Stoffe. Wir werden diese bei oberflächlicher Betrachtung eigentümliche Thatsache später ausführlich besprechen, hier sei vorläufig nur erwähnt, daß man die Partikelchen, aus denen die Molekeln bestehen, jetzt als Atome bezeichnet. Eine jede Veränderung, welche wir an irgend einem Stoffe beobachten, muß durch irgend welche Ursache bewirkt worden sein. Wir bezeichnen die Ursachen im weitesten Sinne des Wortes als Kräfte. Eine Ursache oder eine Kraft muß thätig gewesen sein, wenn der Stein nicht an dem Ort, wo er hingelegt worden ist, bleibt, eine Kraft muß thätig sein, wenn das Wasser im offenen Gefäß allmählich verdunstet, sich in Wasserdampf verwandelt, eine Kraft muß wirksam sein, wenn beim Emporsteigen der Sonne Helligkeit sich verbreitet über die Oberfläche der Erde, wenn die Wolken sich bilden, sich zusammenballen, wenn der Blitz aus der Wolke zuckt und der Donner kracht. Irgend welchen Kräften müssen wir es zuschreiben, wenn der Stein allmählig abbröckelt von dem Gebäude, wenn der Stahl rostet, die blanke Metalloberfläche matt und unscheinbar wird. Jede Veränderung in dem jeweiligen Zustande der uns umgebenden Natur oder des einzelnen Stoffes, den wir genauer betrachten, d. h. alle Erscheinungen in der Natur, werden veranlaßt durch Kräfte, welche in verschiedenster Weise wirksam sind. Aber überall, wo wir die Art und Weise, in welcher die Kräfte wirken, ermitteln können, finden wir, daß dieselben eine Bewegung hervorrufen, sei es nun, daß sich diese Bewegung

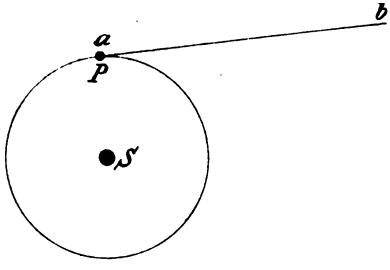
auf die Gesamtmasse eines Körpers als solche erstreckt, oder daß die Molekeln eines Körpers oder endlich die Atome in den Molekeln in Bewegung gesetzt werden. Wir unterscheiden, hauptsächlich des leichteren Verständnisses wegen zwischen solchen Kräften, welche die Gesamtmasse eines Stoffes in Bewegung setzen, mechanischen Kräften, und solchen, welche den Molekeln Bewegung erteilen, das sind die physikalischen Kräfte, endlich denen, welche die Atome in den Molekeln sich bewegen lassen, und die wir als chemische Kräfte bezeichnen.

Überall in der Natur finden wir derartige bewegende Kräfte thätig; wir finden nichts Wunderbares mehr darin, daß der Mond in steter Bewegung um die Erde, daß die Erde in ewiger Bewegung um ihre Axe und um die Sonne sich befindet. Auch die erst sehr spät erkannte Thatsache, daß selbst die Sonne und sämtliche Fixsterne unseres Firmaments nicht still stehen, sondern in ununterbrochener Bewegung begriffen sind, erscheint uns nicht wunderbar. Aber schwerer schon erfassen wir den Gedanken, daß wie die großen Himmelskörper, die wir nicht unpassend als die Molekeln des Weltenalls bezeichnen könnten, so auch die äußerst kleinen Teilchen eines jeden irdischen Stoffes in ununterbrochener Bewegung begriffen sind, daß die Molekeln eines Stückes Glas, eines Tropfens Wasser u. s. f. nicht still neben einander ruhen, sondern fortdauernd, wenn auch innerhalb unmeßbar kleiner Grenzen, sich bewegen. Diese Bewegungen der Molekeln können wir freilich nicht direkt sehen, aber alle unsere Erfahrungen über die verschiedenartigsten Erscheinungen in der Natur zwingen uns zur Annahme derartiger unabläßig stattfindender molekularer Bewegungen.

Die Frage, woher die bewegenden Kräfte in der Natur kommen, ist wenigstens für die Naturwissenschaften eine ebenso müßige, wie die nach der Herkunft des Stoffes, unsere Aufgabe ist es lediglich, die Gesetze, nach welchen diese Kräfte wirken, zu erforschen und aus ihnen die einzelnen Naturerscheinungen abzuleiten.

So können wir z. B. gleich auf die molekulare Bewegung die augenfälligste Verschiedenartigkeit in der Erscheinungsform der Stoffe, den Aggregatzustand derselben zurückführen. Alle Stoffe, die wir wahrzunehmen vermögen, sind bekanntlich entweder fest oder flüssig oder luftförmig und wir sind, wie am besten beim Wasser zu beobachten ist, fast stets imstande, einen und denselben Stoff sowohl fest, wie flüssig, wie auch luftförmig (oder besser gasförmig) zu erhalten. Nun wissen wir aber von den Himmelskörpern her, daß z. B. die Planeten nur deshalb in geschlossenen Bahnen, in kreisähnlichen Ellipsen, um einen Punkt herum sich bewegen, weil zwischen ihnen und der Sonne eine besondere Kraft, die Anziehungskraft (Gravitation) wirkt. In dem Augenblick, wo diese Kraft zu wirken aufhört, würden die Planeten in gerader Linie, in der Richtung der Tangente, in den Himmelsraum hinein fliegen. Wenn in beistehender Figur die Scheibe S die Sonne, der Punkt P den Planeten und die Kreislinie die Bahn des Planeten bedeutet, so ist die Linie a b die Tangente des Kreises und zeigt die Richtung an, in welcher der Planet, wenn in dem Augenblick, wo er den mit P bezeichneten Ort einnimmt, die Anziehungskraft der Sonne auf ihn zu wirken aufhörte, davonfliegen würde. In dieser Richtung (a b) und mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit würde er dahinfliegen, bis er auf irgend ein Hindernis stieße, von welchem er abprallte. Aber nun würde er wieder in gerader Linie zurückfliegen, bis er abermals auf ein Hindernis stieße. Seine ursprünglich kreisförmige oder elliptische Bewegung verwandelt sich also in demselben Augenblick, in welchem die Anziehungskraft der Sonne auf ihn ihre Wir-

Fig. 1.



kung verliert, in eine gradlinige.. Genau dasselbe Gesetz muß auch bei den kleinsten Stoffteilchen, bei den Molekeln herrschen. Wenn bei irgend einem Körper die Molekeln sich gegenseitig anziehen, wird eine jede von ihnen um einen Punkt herum, sei es nun in kreisförmiger oder elliptischer Bahn, sich bewegen, während dieselben, sobald diese gegenseitige Anziehung aufhört oder fehlt, sich in gerader Linie soweit fortbewegen werden, bis sie auf einen Widerstand stoßen und zurückprallen, um jetzt in entgegengesetzter Richtung bis zum Anprallen an einen zweiten Widerstand zu schwingen.

Bei den *festen* Körpern besitzen die Molekeln starke gegenseitige Anziehung, daher kommt es, daß die Trennung der Molekeln von einander nur durch Anwendung von mehr oder minder großer Gewalt gelingt, namentlich ist die Schwerkraft, die Anziehungskraft der Erde auf die einzelnen Massenteilchen nicht im stande, die gegenseitige Anziehung derselben zu überwinden. Bei den *flüssigen* Körpern dagegen ist die gegenseitige Anziehung der Molekeln sehr gering und wird schon durch die Schwerkraft aufgehoben, so daß beim Ausgießen einer Flüssigkeit aus einem Gefäß derjenige Teil, der aus dem Gefäße hinauskommt, sich von dem Rest trennt und für sich zu Boden fällt. Bei den gasförmigen Körpern endlich ist die gegenseitige Anziehung der Molekeln völlig vernichtet, jede Molekel bewegt sich frei so weit sie kann. Die Bewegung der Molekeln in festen und flüssigen Körpern wird demnach in kleinen geschlossenen Bahnen, *um eine Gleichgewichtslage herum*, erfolgen, in gasförmigen Körpern dagegen in geraden Linien und so weit als möglich, d. h. bis sie entweder auf einander stoßen und von einander zurückprallen, oder bis sie schließlich an die Gefäßwandung aufschlagen und von dort zurückgeworfen werden, um nun in umgekehrter Richtung dasselbe Spiel fortzusetzen.

Aus der verschiedenartigen molekularen Bewegung bei festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen können wir leicht die Hauptunterschiede, welche die drei Aggregatzustände darbieten, herleiten.

Da bei festen und flüssigen Stoffen die Molekeln sich gegenseitig anziehen und in begrenzten Bahnen schwingen, so muß die Entfernung der Molekeln von einander bis auf die zu vernachlässigende Schwingungsbahn unverändert bleiben, wenn im Übrigen alle Bedingungen dieselben bleiben. Folglich müssen tausend Molekeln den doppelten Raum einnehmen, wie fünfhundert, und den halben Raum wie zweitausend Molekeln, das heißt aber nichts Anderes als: feste und flüssige Stoffe erfüllen stets nur einen bestimmten Raum, die halbe Masse den halben Raum u. s. f.

Anders dagegen müssen die gasförmigen Stoffe sich verhalten. Hier findet freie Bewegung der Molekeln statt; jede Molekel schwingt, wenn keine anderweitigen Hindernisse vorhanden sind, durch den gesammten Raum, folglich kann ein gasförmiger Körper keinen eigenen Raum einnehmen, sondern muß jeden ihm dargebotenen Raum erfüllen. Wenn wir ein Liter eines gasförmigen Körpers, z. B. Luft, in einen großen, z. B. tausend Liter fassenden luftfreien Raum bringen, so breitet sich das Gas in kürzester Zeit in dem gesammten Raum aus; in jeder Ecke und in jedem Winkel finden wir einen entsprechenden Teil Luft, den tausendsten Teil von der Menge, welche vorher in einem gleich großen Raum vorhanden gewesen ist.

Ebenso läßt sich eine zweite täglich zu beobachtende Erscheinung aus der verschiedenartigen gegenseitigen Anziehung der Molekeln ableiten. Feste Körper mischen sich nicht. Wir können zwar zwei Pulver mit einander vermengen, aber es liegen stets die Pulverkörnchen des einen Körpers neben den Körnchen des andern, mit bewaffnetem Auge leicht von einander zu unterscheiden. Dagegen kann bei Flüssigkeiten, bei welchen die gegenseitige Anziehung der Molekeln sehr gering ist, eine wirkliche Mischung erfolgen, obwohl dieselbe nicht nothwendig einzutreten braucht. Das Mischen zweier Flüssigkeiten hängt davon ab, daß die Anziehung der Molekeln der einen Flüssigkeit zu den Molekeln der anderen Flüssigkeit größer ist als die gegen-

seitige Anziehung der Molekeln einer jeden der beiden Flüssigkeiten unter sich. Wenn wir Wasser und Spiritus mit einander umschütteln, so erhalten wir eine vollkommen homogene Flüssigkeit, auch bei Anwendung der stärksten Vergrößerungen können wir unter den einzelnen Theilen der Flüssigkeit keine Verschiedenheit wahrnehmen. Wenn wir dagegen Wasser und Öl mit einander durchschütteln, so beobachten wir mit leichter Mühe die Wassertröpfchen neben den Öltröpfchen; in diesem Falle verhalten sich die beiden Flüssigkeiten wie zwei feste Körper. — Bei gasförmigen Stoffen muß jedoch stets eine eigentliche Mischung und gegenseitige Durchdringung stattfinden, da ja hier keine gegenseitige molekulare Anziehung zu überwinden ist. Wenn wir daher zwei Gase in irgend welchem Verhältniß mit einander mengen, so finden wir in jedem Theile des Raumes, in welchem sich das Gasgemenge befindet, genau dasselbe Verhältniß der beiden Gase wieder.

Es ist oben bemerkt worden, daß wir die Bewegungen der Molekeln direct zu beobachten nicht vermögen, indirect jedoch können wir auch diese Bewegungen wahrnehmen. Wenn man unter einem stark vergrößernden Mikroskop einen Wassertropfen, auf welchem einige Staubkörnchen sich befinden, genau betrachtet, so bemerkt man, daß die festen Körnchen fortdauernd kleine Bewegungen hin und her machen, als ob sie zitterten. Diese zitternde Bewegung der Staubkörnchen läßt sich am besten beobachten, wenn jede äußere Veranlassung dazu fehlt, wenn vollkommenste Ruhe am Beobachtungsort herrscht. Die Bewegung wird veranlaßt durch die unabläßige Bewegung der Wassermolekeln, welche an die Staubkörnchen anstoßen und sie schließlich ebenfalls in Bewegung setzen. Ferner beobachten wir schon mit bloßem Auge in einem dunklen Zimmer, in welches durch eine kleine Öffnung ein Streifen directen Sonnenlichts fällt, in dem intensiv erleuchteten Streifen ein Hin- und Herwogen kleiner fester Partikelchen. In unserer Luft befinden sich nämlich allerorten in großer Menge derartige feste Körperchen, zum großen

Teil Keime niederer Organismen. An diese kleinen Teile prallen fortdauernd Luftmolekeln an und setzen sie so allmählich in Bewegung. Auch die Bewegung dieses sogenannten Sonnenstaubs, der übrigens ebenso gut an völlig staubfreien Orten vorhanden ist, z. B. mitten im Walde, kann am besten beobachtet werden, wenn nicht der leiseste Luftzug vorhanden ist. Man sieht ihn dann in gerader Linie auf und ab sich bewegen.

Allgemeine Gesetze, denen die Körper im Ruhezustande unterworfen sind.

Da in der Natur ununterbrochen die verschiedensten Kräfte thätig sind, um Bewegungen hervorzurufen, sei es Bewegungen der Massen oder der Molekeln, so werden die Massen bez. deren Molekeln durch diese Kräfte auch in Bewegung gesetzt und darin erhalten werden. So zieht beispielsweise die Erde alle auf ihr befindlichen Körper an, und es müßten daher alle Körper nach dem Centrum der Anziehung, nach dem Mittelpunkt der Erde hin sich bewegen. Gleichwohl sehen wir sehr häufig die Körper in Ruhe sich befinden. Wann tritt dieser Fall ein? Wenn die Anziehungskraft der Erde durch eine andere in entgegengesetzter Richtung wirkende, also den Körper vom Mittelpunkt der Erde zu entfernen strebende Kraft von gleicher Größe aufgehoben wird. Allgemein werden wir diesen Satz zu fassen haben:

Wenn zwei (oder mehrere) Kräfte in der Weise auf einen Körper einwirken, daß sie sich gegenseitig aufheben, dann befindet sich der Körper in Ruhe.

Zwei Kräfte heben sich gegenseitig auf, wenn sie gleich groß sind und nach entgegengesetzter Richtung den Körper zu bewegen suchen.

Sobald eine dieser beiden Bedingungen nicht erfüllt ist, muß der Körper in Bewegung gesetzt werden, und zwar haben wir alsdann folgende drei Fälle zu unterscheiden:

1) Zwei bewegende Kräfte wirken nach derselben Richtung auf einen Körper, alsdann wird der Körper mit der Geschwindig-

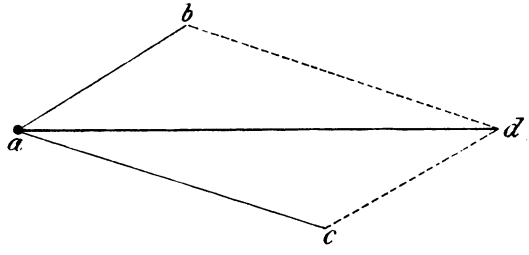
keit, die gleich der Summe der beiden Kräfte ist, sich fortbewegen. Als Beispiel könnte ein Eisenbahnzug, welcher eine Bergstraße herabkommt, dienen. Wenn der Zug für sich lediglich durch seine Schwere in jeder Secunde 5 Meter herunterrollen würde und wir spannen noch eine Maschine, welche ihn auf ebener Bahn 3 Meter in jeder Secunde fortbewegen würde, an, so braust der Zug mit einer Geschwindigkeit von 8 Metern in jeder Secunde herab.

2) Zwei Kräfte wirken in entgegengesetzter Richtung auf einen Körper ein, sind sie aber nicht gleich groß, dann wird der Körper sich mit der Geschwindigkeit, die gleich der Differenz der beiden Kräfte ist, in der Richtung der größeren Kraft fortbewegen. Bleiben wir bei dem vorhergehenden Beispiel, nur mit dem Unterschiede, daß die Maschine den Zug die Bergstraße hinauf zu drücken sucht mit der oben angenommenen Kraft 3, während der Zug ohne die Maschine mit der Kraft 5 herunterfahren würde, dann muß der Zug herunterrollen, und zwar wird er in jeder Secunde 2 Meter weit nach unten hin sich bewegen.

3) Zwei bewegende Kräfte wirken in verschiedener Richtung auf einen Körper ein. Alsdann wird der Körper sich bewegen, aber weder in der Richtung der einen, noch in der der anderen Kraft, sondern in einer zwischen diesen beiden liegenden Richtung, und zwar in der Diagonale eines Parallelogramms, welches wir uns aus den beiden Richtungen construieren können. Sei in umstehender Figur (2) a der zu bewegende Körper und die Linie a b der Weg, welchen derselbe durch die eine Kraft in einer Secunde fortbewegt werden würde, die Linie a c der Weg, welchen der Körper durch die zweite Kraft, wenn diese allein zur Wirkung gelangte, in derselben Zeit zurücklegen würde, dann ist die Linie a d der Weg, welchen der Körper thatsächlich durch die gemeinschaftliche Wirkung beider Kräfte sich fortbewegt. Denn nehmen wir an, die beiden Kräfte kämen nach einander zur Wirkung, so würde der Körper a durch die eine Kraft in

einer Secunde von a bis b sich bewegen. Wenn nun in dem Punkte b die zweite Kraft den Körper in der Richtung a c, d. h. in der dieser parallelen Richtung b d fortbewegte, so würde er den Weg b d, welcher genau so lang ist wie a c, zurücklegen, d. h. er würde nach einer Secunde in d anlangen. Genau dasselbe findet statt, wenn beide Kräfte gleichzeitig zur Wirkung kommen, der Körper a muß nach einer Sekunde in d ankommen. Daß aber der Körper a den Weg a d entlang sich bewegt, ist leicht ersichtlich, wenn wir uns vorstellen, die beiden Kräfte suchten ihn abwechselnd in äußerst kleinen auf einander folgenden Zwischenräumen fortzubewegen. so daß er bald der

Fig. 2.

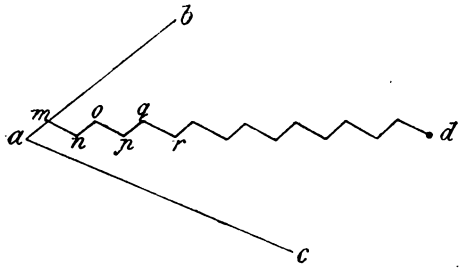


einen, bald der anderen Kraft folgend, d. h. bald in der Richtung a b, bald in der von a c sich bewegte. Nehmen wir z. B. an, die eine Kraft bewegte ihn $^1/_{20}$ Sekunde in der Richtung a b von a bis m, darauf die zweite Kraft $^1/_{20}$ Sekunde in der Richtung a c von m bis n, dann wieder die erste Kraft $^1/_{20}$ Sekunde in der Richtung a b von n bis o, darauf die zweite Kraft $^1/_{20}$ Sekunde in der Richtung a c von o bis p u. s. f., so würde der Körper a in der gebrochenen Linie a m n o p q r..... bis d sich fortbewegen. Je kleiner wir nun uns die Zwischenräume denken, innerhalb deren der Körper a bald der einen, bald der anderen Kraft Folge zu leisten gezwungen wird, desto kleiner werden die einzelnen Teile der gebrochenen Linie sein, und wenn

diese Zwischenräume schließlich unendlich klein werden, so wird auch die Linie a d in eine gerade Linie übergehen.

Daraus folgt zunächst, daß es für die Bewegung des Körpers a gleichgiltig ist, ob auf ihn eine einzige Kraft einwirkt, welche ihn in einer Sekunde in der Richtung a d den Weg a d zu machen zwingt, oder ob zwei Kräfte auf ihn wirken, von denen die eine ihn von a bis b, die andere von a bis c zu bewegen sucht. Selbstverständlich wird der Körper a gar nicht fortbewegt werden, also in Ruhe bleiben, wenn drei Kräfte auf ihn einwirken, so, daß die eine ihn von a nach b, die zweite von a nach c fortbewegen würde, und eine dritte, welche ihn eine Strecke, die gleich a d ist, rückwärts zu bewegen strebt. Alsdann halten sich alle drei Kräfte das Gleichgewicht.

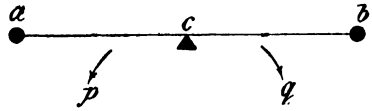
Fig. 3.



Den einfachsten Fall der gegenseitigen Aufhebung der Kräfte haben wir vor uns, wenn wir einen auf einer Unterlage befindlichen Körper betrachten. Durch die Anziehung der Erde streben alle Körper zu fallen, und zwar mit um so größerer Kraft, je größer die Masse des Körpers ist. Wird nun das Fallen des Körpers durch eine Unterlage aufgehoben, so äußert sich das Bestreben des Körpers zu fallen in einem Druck, den der Körper auf seine Unterlage ausübt. Dieser Druck ist proportional der Masse des Körpers und heißt das Gewicht des Körpers, seine Schwere. Es kann der Körper nur dann in Ruhe sein, wenn der von demselben ausgeübte Druck nach unten durch einen gleich großen Gegendruck nach oben paralysiert wird, was wir bei beweglicher Unterlage, wie sie bei unseren

gewöhnlichen Waagen vorhanden ist, leicht durch den Versuch bestätigen können. Die Waagschale, auf welcher irgend eine Last sich befindet, wird so lange sinken müssen, d. h. dem Bestreben der Last, zu fallen, nachgeben müssen, bis durch das Gegengewicht auf der anderen Seite der Waage die Kraft, welche die Waagschale zu heben sucht, ebenso groß ist, wie die Kraft, mit welcher die Last die Schale hinunterdrückt. Daraus können wir eine Reihe von Eigenschaften der Körper ableiten. Da bei *festen* Körpern die einzelnen Teilchen sich gegenseitig stark anziehen, so daß dieselben nur durch Anwendung von mehr oder minder großer Gewalt von einander losgerissen werden können, da sie jedenfalls mit so großer Kraft an einander hängen, daß die Schwerkraft, die auf jedes einzelne Massenteilchen wirkende Anziehungskraft der Erde, sie *nicht* von einander zu reißen vermag, so muß bei jedem festen Körper ein Punkt existieren, durch dessen Unterstützung die gesamte Masse des Körpers am Fallen verhindert wird. Es läßt sich dieser Grundsatz am besten auf folgende Weise anschaulich machen. Nehmen wir an, in der beistehenden Figur 4 seien a und b zwei gleich schwere Molekeln, die sich gegenseitig so stark anziehen, daß sie durch die Schwerkraft der Erde nicht von einander losgerissen werden können, und stellen wir uns diese gegenseitige Anziehung durch die Linie a b vor, so werden wir *beide* Punkte am Fallen verhindern, wenn wir die Linie a b am Punkte c unterstützen. Die Linie a b ist dann ein Hebel, den die Molekel a in der Richtung des Pfeiles p herumzudrehen strebt, während ihn die Molekel b in entgegengesetzter Richtung, in der des Pfeiles q, zu drehen sucht. Da beide mit gleich großer Kraft, aber in entgegengesetzter Richtung, den Hebel zu drehen suchen, werden sie überhaupt keine Drehung hervorzurufen im stande sein, sie werden in Ruhe bleiben. Aber beide *drücken* sie auf den Unterstützungs-

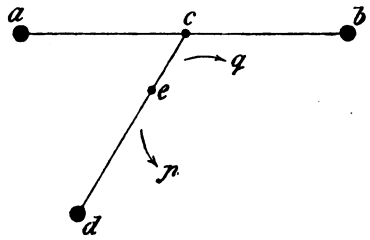
Fig. 4.



punkt c mit der Summe ihrer Gewichte. Wäre jede Molekel 1 Gramm schwer, so müßte man ein nach oben ziehendes Gewicht von 2 Gramm in c wirken lassen, um das Fallen der beiden Molekeln zu verhindern, folglich hat der Unterstützungspunkt c einen Druck von 2 Gramm zu erleiden. Wir können uns daher das Gesamtgewicht der beiden Molekeln, oder was dasselbe ist, die Gesamtwirkung der Anziehung der Erde auf die beiden Molekeln in dem Punkt c vereinigt denken und bezeichnen deshalb den Punkt c als den Schwerpunkt der beiden Molekeln.

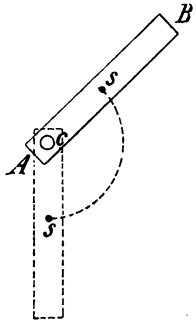
Zu demselben Ergebniß gelangen wir, wenn wir uns drei sich gegenseitig anziehende Molekeln vorstellen, wie in Figur 5 angedeutet ist. a, b, d sollen die drei Massenteilchen sein, der Schwerpunkt von a und b liegt in c und, da die drei Massenteilchen durch die Schwerkraft nicht von einander losgerissen werden können, da wir ferner die Gesamtanziehung der Erde auf die beiden Molekeln a und b in c vereint uns denken können, so wird an dem System nichts geändert, wenn wir uns in c ein doppelt so schweres Massenteilchen wie in d denken. Wir brauchen daher nur c mit d durch eine Linie zu verbinden, alsdann werden alle drei Molekeln am Fallen verhindert, wenn wir das System in dem Punkt e unterstützen. Denn wir haben in der Linie c d einen Hebel, welcher in e drehbar ist und welchen das Massenteilchen d in der Richtung des Pfeiles p, c aber, welches in sich das Gewicht der beiden Molekeln a und b vereinigt, in der Richtung des Pfeiles q zu drehen suchen. Wenn nun e halb so weit von c entfernt ist, wie von d, dann wird der Hebel c d gar nicht gedreht werden, er bleibt in Ruhe. Denn es ist bekannt, daß ein Hebel, d. h. eine um einen festen

Fig. 5.



Punkt drehbare Linie (in Wirklichkeit eine Stange, wie der Waagebalken, jede Thürklinke ꝛc. ꝛc.) dann in Ruhe bleibt, wenn die beiden Kräfte, die ihn nach entgegengesetzten Seiten hin zu drehen suchen, wie bei der Waage die Gewichte und die Last, bei der Thürklinke die Muskelkraft und die Spannung der Feder ꝛc., wenn also die beiden Kräfte sich umgekehrt verhalten, wie die Entfernung ihrer Angriffspunkte von dem Drehpunkt. Wenn also die eine Kraft an einem dreimal so weit vom Drehpunkt entfernten Punkt des Hebels angreift, wie die andere, so braucht sie nur ein Drittel so groß zu sein, wie jene.

Fig. 6.



Folglich braucht, um zu unserem Beispiele zurückzukehren, nur der Punkt e unterstützt zu werden, um die drei Molekeln a, b, d am Fallen zu verhindern. e ist der Schwerpunkt der drei in einem festen Körper enthaltenen Molekeln. So können wir von einer immer größeren Zahl von Molekeln den Schwerpunkt durch Konstruktion finden. Wir werden daher sagen können:

In einem jeden festen Körper ist ein Punkt, dessen Unterstützung genügt, um den Körper am Fallen zu verhindern, das ist sein Schwerpunkt. Ein im Schwerpunkt unterstützter Körper befindet sich im Gleichgewicht, in welcher Lage auch der betreffende Körper sich befinden mag. Ist dagegen der Schwerpunkt des Körpers selbst nicht unterstützt, sondern irgend ein anderer Punkt des Körpers, so wird der Schwerpunkt so tief als möglich zu fallen suchen. Denken wir uns die Stange AB (Figur 6) in dem Punkt c so aufgehängt, daß sie sich um diesen Punkt drehen kann, so ist ihr Schwerpunkt s nicht unterstützt, er wird fallen, bis er, da die Stange selbst am Fallen verhindert ist, die tiefste Lage, welche unter diesen Umständen erreichbar ist, erreicht hat, d. h. bis er senkrecht unter dem Aufhängepunkt sich befindet.

Da die Teilchen fester Körper sich gegenseitig stark anziehen, so daß sie nur durch Gewalt von einander getrennt werden können, so werden sie auch ihre gegenseitige Lage, so lange keine äußere Gewalt, wie Druck, Zug ꝛc., auf die Veränderung derselben hinwirkt, beibehalten, d. h. aber nichts anderes als: Feste Körper behalten eine ihnen gegebene Form bei, sie besitzen neben eigener Raumerfüllung auch eigene Gestalt.

Anders die Flüssigkeiten. Bei diesen ist die gegenseitige Anziehung der Teilchen zwar noch vorhanden, aber so gering, daß die Schwerkraft dieselbe zu überwinden vermag; es sind bei diesen die Teilchen sehr leicht verschiebbar. Wenn daher bei einer Flüssigkeit nur die gegenseitigen Anziehungskräfte der Molekeln zur Wirkung kommen, dann muß die Flüssigkeit Kugelgestalt annehmen, wie wir leicht beobachten können, wenn wir etwas Öl in verdünnten Spiritus, welcher dasselbe spezifische Gewicht besitzt, wie jenes, hineinbringen. Denn die Molekeln legen sich so dicht wie möglich an einander, so daß sie sämtlich so nahe wie möglich bei einander sind, und bei der Kugelform sind thatsächlich alle Teilchen so wenig wie möglich von einander entfernt.

Ferner folgt aus der leichten Beweglichkeit der Flüssigkeitsteilchen, daß jeder flüssige Stoff die Gestalt des Gefäßes, in welchem er sich befindet, annehmen, und daß seine Oberfläche horizontal sein muß. Denn denken wir uns in einem Gefäße eine frei stehende Flüssigkeitssäule, so werden in dieser die oberen Schichten auf die darunter liegenden drücken. Diese werden bei ihrer leichten Verschiebbarkeit dem Druck nach den freien Seiten zu so lange ausweichen, bis sie auf einen Widerstand stoßen, der ihrem Ausweichen eine Grenze setzt, d. h. bis sie an der Wandung des Gefäßes angelangt sind. Für alle Flüssigkeitsteilchen wird dieses Ziel erreicht sein, wenn alle am höchsten gelegenen Teilchen (die gesamte Oberfläche) so tief als möglich gesunken sind, gleich weit vom Mittelpunkt der Erde, dem Zentralpunkt der Anziehungskraft derselben, entfernt sind. Die Oberfläche bildet alsdann eine horizontale Fläche. Ferner ist klar,

daß die Flüssigkeiten auf den Boden und auf die Seitenwandungen der Gefäße einen Druck ausüben müssen, der dem Gewicht der darüber lagernden Flüssigkeitssäule entspricht, so daß z. B. in einem Wasserbehälter eine Wandfläche von einem Quadratcentimeter, die zehn Centimeter unter dem Niveau sich befindet, einen Druck von zehn Gramm (das ist das Gewicht einer Wassersäule von zehn Centimeter Höhe und einem Quadratcentimeter Bodenfläche) erleidet. Eine Bestätigung dieser Thatsache erhalten wir, wenn wir an irgend einer Stelle der Gefäß-

Fig. 7.

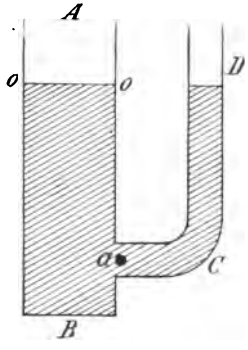
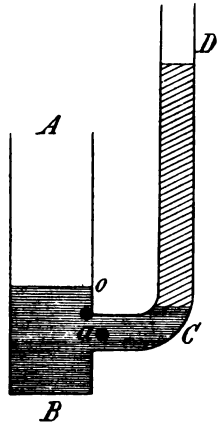


Fig. 8.



wand ein Rohr sich abzweigen lassen, wie in Figur 7 und 8, diesen Teil der Gefäßwand (a) gleichsam beweglich machen. An dieser Stelle kann die Flüssigkeit nur dann sich in Ruhe befinden, wenn der Druck, den jede Molekel von der einen (linken) Seite erleidet, durch einen gleich großen und nach entgegengesetzter Seite hin (von rechts nach links in unserer Figur) wirkenden Druck paralysiert wird. Denken wir uns in dem Gefäß AB und in dem Seitenrohr CD dieselbe Flüssigkeit, z. B. Wasser, so wird die Flüssigkeit sich in Ruhe befinden, wenn die Wasserteilchen bei a, die durch das Gewicht der Wasser-

säule, welche von der Oberfläche o bis a reicht, nach rechts hin gedrückt werden, durch ein gleiches Gewicht, also eine Wassersäule von derselben Höhe, nach links gedrückt werden. Folglich muß das Wasser in dem Seitenrohr CD ebenso hoch steigen, wie es in dem Gefäß AB steht. Wenn wir dagegen, wie es in Figur 8 dargestellt ist, in dem Gefäß AB Quecksilber haben, welches 13.6 mal so schwer ist, wie Wasser, in dem Seitenrohr CD aber Wasser, alsdann muß, wenn die Flüssigkeitsteilchen in a in Ruhe sich befinden sollen, folglich der Druck von rechts nach links ebenso groß sein soll, wie der von links nach rechts, die Wassersäule in CD auch 13.6 mal so hoch sein, wie die Quecksilbersäule oa, denn nur dann ist das Gewicht der Wassersäule gleich dem Gewicht der Quecksilbersäule.

In gleicher Weise folgt aus dem Fundamentalgesetz, daß jeder Körper und jeder Teil eines Körpers in Ruhe sich befindet, wenn alle auf den Körper oder den betreffenden Teil desselben wirkenden Kräfte sich gegenseitig aufheben, daß in Flüssigkeiten jeder Druck nach allen Richtungen hin sich fortpflanzt. Wir brauchen nämlich in der obigen Figur 7 nur in dem Seitenrohr CD durch einen Stempel die Flüssigkeit herunterzudrücken, dann würden die Teilchen bei a in das Gefäß AB hineingepreßt werden, wenn nicht in AB selbst durch einen Gegendruck die Molekeln mit gleich großer Kraft nach entgegengesetzter Richtung gedrängt würden. Nehmen wir an, die Flüssigkeitsoberfläche in CD bestehe aus 1000 Molekeln und werde mit der Kraft von 1000 Gramm heruntergedrückt. Alsdann würde auf jede Molekel der Druck von 1 Gramm wirken. Bei der leichten Verschiebbarkeit der Flüssigkeitsteilchen würde jede Molekel ausweichen, falls sie nicht durch ihre Nachbarmolekeln daran verhindert würde. Das heißt aber nichts anderes, als daß alle Nachbarmolekeln von der heruntergedrückten Molekel denselben Druck empfangen. Selbstverständlich drücken diese ihrerseits auf die ihnen zunächst befindlichen Molekeln, bis schließlich die feste Gefäßwand des Rohres CD den Druck aufnimmt. Nur bei a, wo keine Wand

sich befindet, und die Flüssigkeit einen Ausweg hat, würde diese (abgesehen von dem Druck der Flüssigkeitssäule selbst) dem auf der Oberfläche von D lastenden Druck nachgeben müssen, wenn nicht jede Molekel mit dem Gewicht von 1 Gramm nach entgegengesetzter Richtung, in unserer Figur nach rechts, gedrückt würde. Diesen Gegendruck erreichen wir aber dadurch, daß wir in dem Gefäße AB auf die Flüssigkeit einen so großen Druck ausüben, daß jede Molekel den Druck von 1 Gramm empfängt. Wenn nun die Oberfläche in AB zehnmal so groß ist wie in CD, so sind auch zehnmal so viele Molekeln an der Oberfläche, und es bedarf eines Gewichts von 10 Kilogramm, um Gleichgewicht herzustellen.

Dadurch wird das Prinzip der hydraulischen Pressen, durch welche äußerst starke Druckeffekte bewirkt werden, klar. Es wird nämlich in einem verhältnismäßig engen Rohr Wasser zusammengepreßt, und da das enge Rohr mit einem gewöhnlich hundertmal so weiten Rohr in Verbindung steht, so muß auf der Oberfläche des Wassers im weiten Rohr ein hundertfacher Druck vorhanden sein, um das Wasser am Ausfließen zu verhindern.

Endlich läßt sich aus dem oben aufgestellten Satz die bekannte Thatsache ableiten, daß jeder Körper, der in eine Flüssigkeit getaucht wird, so viel von seinem Gewicht, das heißt von der Kraft, mit welcher er von der Erde angezogen wird, einbüßt, als er Flüssigkeit verdrängt. Betrachten wir z. B. irgend ein Flüssigkeitsteilchen m (Fig. 9) inmitten einer Flüssigkeit. Auf diesem Teilchen lastet die ganze Flüssigkeitssäule von der Oberfläche o bis zu ihm hin, es müßte demnach sinken, wenn nicht ein gleich großer Druck nach oben vorhanden wäre, damit es in Ruhe bleibe. Folglich findet innerhalb einer Flüssigkeit überall ein der Schwere entgegengesetzt gerichteter Druck statt. Dieser Gegendruck, der lediglich das Gleichgewicht im Innern der Flüssigkeiten erhält, ist der **Auftrieb**. Bringen wir nun in die Flüssigkeit einen fremden Körper, z. B. den Cylinder ABCD, (Fig. 10) so wird derselbe bei der leichten Verschieb-

barkeit der Flüssigkeitsteilchen nicht nur infolge seines eignen Gewichts, sondern auch, weil seine Oberfläche durch eine Flüssigkeitssäule von der Höhe o a und der Bodenfläche A D nach unten gedrückt wird, zu fallen bestrebt sein. Andererseits sucht jedoch die Flüssigkeit vermöge des Auftriebs in B C ihn zu heben. Die Kraft, mit welcher die Flüssigkeit den Cylinder nach oben zu treiben sucht, entspricht dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule von der Bodenfläche B C und der Höhe o b. Der Cylinder sucht demnach zu fallen mit der Kraft seines Gewichts (P) und dem Gewicht der Flüssigkeitssäule A D o a, das wir durch m bezeichnen wollen; dagegen zu steigen mit der Kraft des Gewichtes der Flüssigkeitssäule B C o b, das mit n bezeichnet werden soll, er wird

Fig. 9.

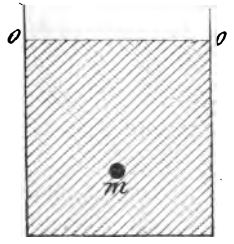
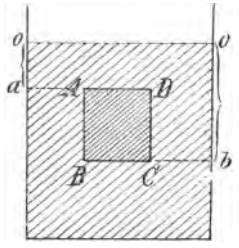


Fig. 10.



demnach mit der Kraft P + m — n oder was dasselbe ist P-(n-m) fallen; n-m, d. h. das Gewicht der Flüssigkeitssäule vom unteren Boden des Cylinders minus dem Gewicht der Säule vom oberen Boden des Cylinders ist aber das Gewicht der Flüssigkeit, welche denselben Raum einnimmt, wie der Cylinder. In Worten läßt sich demnach das Symbol P-(n-m) ausdrücken: „In einer Flüssigkeit fällt ein jeder Körper mit der Kraft, welche seinem Gewicht minus dem Gewicht eines gleich großen Volums Flüssigkeit entspricht." Nehmen wir beispielsweise an, das Gewicht des Cylinders sei 12 Gramm, das eines dem seinigen gleichen Volumens Wasser sei 10 Gramm, so wird der Cylinder in dem Wasser mit dem Gewicht von 2 Gramm fallen. Wäre aber das Gewicht des Cy-

linders ebenfalls 10 Gramm, so würde er gar nicht fallen können, sondern müßte in dem Wasser schwebend bleiben. Wenn endlich sein Gewicht (bei gleichbleibendem Volumen) nur 8 Gramm betrüge, so müßte er mit dem Gewicht von minus 2 Gramm fallen, d. h. er muß in die Höhe steigen, und zwar so lange in die Höhe steigen, bis das von ihm verdrängte Wasservolumen nur gleichfalls 8 Gramm wäre. Das aber findet statt, wenn er mit nur $^4/_5$ seines Volumens im Wasser sich befindet, mit $^1/_5$ daraus hervorragt. Es sinkt deshalb ein jeder Körper, der leichter als die Flüssigkeit ist, in welche er getaucht wird, so lange ein, bis das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit genau so groß ist, als sein eigenes Gewicht. Darauf beruhen die einfachen Methoden zur Messung des spezifischen oder Volumengewichts von festen und flüssigen Körpern.

Daß bei Gasen genau dieselben Gleichgewichtsgesetze herrschen, wie bei Flüssigkeiten, ist selbstverständlich. Denn die Unterschiede in den Erscheinungen bei festen und flüssigen Stoffen beruhen doch nur darauf, daß bei letzteren die leichte Verschiebbarkeit der Teilchen zur Geltung kommt. Bei den gasförmigen Stoffen ist aber, wie wir wissen, diese Verschiebbarkeit noch größer, und wir werden daher bei diesen alle Erscheinungen, die wir in den vorhergehenden Zeilen besprochen haben, mit womöglich größerer Schärfe hervortreten sehen. So werden Gase auf die Wandungen der Gefäße, in denen sie sich befinden, nach unten, nach den Seiten und auch nach oben einen Druck ausüben, und es wird der Druck auf den unteren Boden des Gefäßes nur um das Gewicht der Gassäule selbst größer sein als auf den oberen Boden. Denn da die Gase keinen eigenen Raum erfüllen, sondern jeden ihnen dargebotenen Raum einnehmen, werden sie nicht nur wie die Flüssigkeiten die Gestalt des Gefäßes in welchen sie sich befinden, annehmen, sondern das Gefäß völlig erfüllen, und die Molekeln derselben werden aus einem oben offenen Gefäße mit derselben Schnelligkeit zu entweichen suchen, wie aus einem am Boden geöffneten Gefäße. Sollen daher Gase in

einem Gefäße bleiben, so muß dieses allseitig geschlossen sein, und es wird das Bestreben derselben, zu entweichen, in einem Druck auf die Wandungen des Gefäßes sich äußern.

Ferner ist das Gesetz der kommunizirenden Gefäße ꝛc. auch für Gase geltend, und unser Barometer ist nichts anderes als die Bestätigung dieses Gesetzes. Denn die mächtige Gasschicht, welche als Atmosphäre die Erde umgiebt, muß auf die Oberfläche der Erde einen Druck ausüben, den wir mit Leichtigkeit messen können, wenn wir in zwei mit einander in Verbindung stehenden Gefäßen wie in Fig. 11 (Heberbarometer) oder Fig. 12 (Gefäßbarometer) eine Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, haben, je-

Fig. 11.

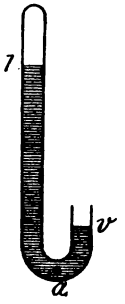
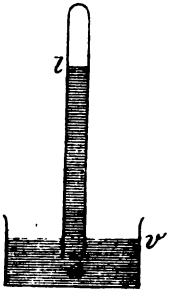


Fig. 12.



doch so, daß die gesamte Atmosphäre auf die Oberfläche der Flüssigkeit in dem einen Gefäße, nicht aber in dem anderen (luftleeren) Gefäße, drücken kann. An der Stelle, wo die beiden Gefäße mit einander in Verbindung sich befinden, muß jedes Teilchen, z. B. a, wenn es in Ruhe bleiben soll, von allen Seiten einen gleich großen Druck erfahren. Dieser Druck besteht einerseits in dem Gewicht der Quecksilbersäule la, andererseits in dem Gewicht der kleinen Quecksilbersäule va und dem Gewicht der auf v drückenden Atmosphäre. Folglich ist der Druck der Atmosphäre selbst gleich la — va = lv. Am Meeresstrand ist dieser Druck so groß wie der einer Quecksilbersäule von 760

Millimetern, das ist ca. 1033 g pro Quadratcentimeter. Gewöhnlich vergleichen wir den Druck, welchen die Gase auf die Gefäßwandungen ausüben, mit dem Druck der Atmosphäre (2, 3, 4, $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_{10}$ Atmosphäre, oder auch mit dem Druck einer Quecksilbersäule, und sagen, das betreffende Gas besitzt einen Druck von 10, 15, 20 ꝛc. mm).

Ferner werden Gase den Druck nach allen Seiten hin fortpflanzen, und endlich werden wir auch bei Gasen den Auftrieb wahrnehmen. Darum fällt eine Federfahne langsamer zur Erde als eine Bleikugel, weil die Federfahne wegen ihres weit größeren Volumens bei gleichem Gewicht (im luftleeren Raum gemessen) eine weit größere Menge Luft verdrängt, daher einen weit größeren Auftrieb zu überwinden hat.

Bewegung der Körper bei kontinuirlich wirkenden Kräften.

Eine der wichtigsten Grundeigenschaften der Körper ist ihr Beharrungsvermögen, d. h. ihr Bestreben, in dem Zustande, in welchem sie sich gerade befinden, sei es der Zustand der Ruhe oder der Bewegung, so lange zu bleiben, bis sie durch irgend eine Kraft in einen anderen Zustand überzugehen gezwungen werden.

Eine dahinrollende Kugel, welche in einer Sekunde ein Meter weit in irgend einer Richtung sich fortbewegt, legt denselben Weg und in derselben Richtung in der zweiten, ebenso in der dritten Sekunde zurück und würde dieselbe Bewegungsgeschwindigkeit und dieselbe Bewegungsrichtung fort und fort behalten, wenn nicht hemmende oder ablenkende Kräfte, wie die Reibung, die Anziehungskraft der Erde ꝛc. die Fortbewegung der Kugel zunächst verlangsamen, schließlich völlig aufheben oder in eine andere Richtung hineinlenken würden. Es sind also Kräfte erforderlich, um einen in Bewegung befindlichen Körper in den Ruhestand zu versetzen, oder ihn in anderer Richtung sich fort-

bewegen zu lassen. Ebenso wird ein jeder Körper in Ruhe bleiben, wenn er sich in Ruhe befindet, wenn ihn nicht irgend welche Kräfte in Bewegung setzen. Von solchen bewegenden oder die Bewegung hemmenden Kräften haben wir vor allem zu unterscheiden 1) einmal wirkende Kräfte, wie den Stoß, den Wurf ꝛc.; 2) kontinuirlich wirkende Kräfte, wie die Schwerkraft. Die Leistungen kontinuirlich wirkender Kräfte begreifen wir leicht, wenn wir diese Kräfte in schnell auf einander folgende einzeln wirkende Kräfte, also etwa einzelne Stöße, zerlegen. 1. Wenn wir einen Stein schleudern, so daß er in 1 Sekunde 10 M. sich fortbewegt, so würde er, die Abwesenheit aller hemmenden Kräfte vorausgesetzt, in jeder folgenden Sekunde 10 M. weiter sich bewegen. 2. Entziehen wir aber irgend einem Körper die Unterlage, so wird er zu fallen beginnen, seine Geschwindigkeit wird anfangs sehr gering sein, aber da sein Beharrungsvermögen ihn stets mit der einmal erlangten Geschwindigkeit sich fortbewegen läßt, andererseits in rascher Folge stets von neuem die Erde ihn anzieht, so wird durch die vereinigte Wirkung des Beharrungsvermögens und der immer von neuem zur Geltung kommenden Anziehungskraft der Erde die Schnelligkeit rasch steigen müssen. Nehmen wir an, es hätte der fallende Körper nach Verlauf des ersten Tausendstel einer Sekunde die Geschwindigkeit von einem Centimeter erlangt, d. h. er würde, wenn jetzt die Erde ihn nicht mehr anzöge, in je einer vollen Sekunde sich einen Centimeter fortbewegen, alsdann würde er im zweiten Tausendstel der Sekunde diese Geschwindigkeit natürlich beibehalten, außerdem aber, da er doch thatsächlich wieder und mit gleicher Stärke wie vorhin von der Erde angezogen wird, noch die Geschwindigkeit von einem Centimeter dazu erlangen, also nach Verlauf des zweiten Tausendstel schon mit einer Schnelligkeit von zwei Centimetern fallen. In gleicher Weise würde er im dritten Tausendstel der Sekunde schon vermöge seines Beharrungsvermögens 2 Centimeter, dazu durch die wiederum wirkende Schwerkraft 1 Centimeter, zusammen also am Ende von $^3/_{1000}$ Sekunden die Geschwindigkeit von

drei Centimetern besitzen. Es versteht sich von selbst, daß jedes Tausendstel einer Sekunde ihm einen Zuwachs an Geschwindigkeit von 1 Centimeter bringen würde, und am Schluß der ersten Sekunde würde er sonach eine Geschwindigkeit von 1000 Centimetern, d. h. 10 Metern erlangt haben, am Schluß der zweiten Sekunde eine Geschwindigkeit von 20 Metern, am Schluß von t Sekunden t mal 10, so daß ein Körper, der bereits 20 Sekunden lang gefallen ist, schließlich eine so große Geschwindigkeit erlangt hat, daß er ohne die weiter wirkende Anziehung der Erde in jeder Sekunde einen Weg von 20 mal 10 Meter, also von 200 Metern, zurücklegen muß. Wenn wir die Geschwindigkeit des fallenden Körpers zu irgend einer Zeit mit v (Velocitas), die Anziehungskraft der Erde, die Schwerkraft mit g (Gravitas), bezeichnen, so werden wir das eben entwickelte Gesetz durch die einfache Gleichung $v = gt$ ausdrücken können.

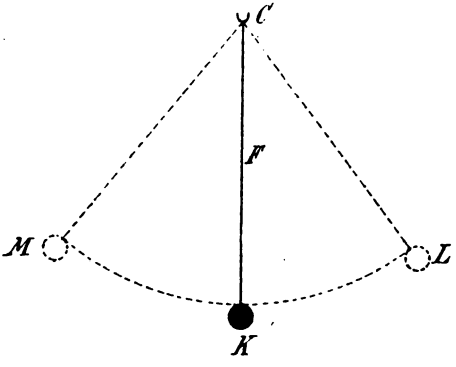
Dabei ist die Annäherung des fallenden Körpers zum Mittelpunkt der Erde und die dadurch bedingte Steigerung der Anziehungskraft als zu unbedeutend nicht berücksichtigt worden. Thatsächlich erlangt ein im luftleeren Raum fallender Körper am Ende einer Sekunde die Geschwindigkeit von 9.8 Metern.

Dasselbe Gesetz gilt für einen in die Höhe geschleuderten Körper, nur daß im letzteren Falle die Schwerkraft dem in die Höhe Steigen des Körpers entgegenwirkt, seine Geschwindigkeit ununterbrochen vermindernd, bis dieselbe gleich Null wird. Wenn ein Körper mit der Geschwindigkeit von 100 Metern in die Höhe geschleudert wird, so wird seine Bewegungsgeschwindigkeit nach 1 Sekunde 100 Meter weniger 10 Meter, nach 2 Sekunden 100—20 M., nach 5 Sekunden 100—50 M., nach 10 Sekunden 100—100 M. gleich Null sein müssen. In diesem Augenblick ist ihm demnach von der ursprünglichen Geschwindigkeit nichts mehr geblieben, während die Anziehungskraft der Erde in immer gleicher Stärke auf ihn weiter wirkt. Er muß demnach nun zu fallen beginnen und wird nach 1 Sekunde eine nach abwärts gerichtete Geschwindigkeit von 10 Metern, nach 2 Sekunden von

20 Metern 2c. erlangen, bis er nach 10 Sekunden mit einer Geschwindigkeit von 100 Metern auf den Boden gelangt.

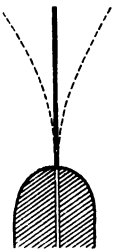
Von demselben Gesetze werden die Schwingungen des Pendels beherrscht. Ein Pendel ist bekanntlich irgend ein an einem Faden oder an einem Stab befestigter Körper, dessen Faden (oder Stab) am anderen Ende so aufgehängt ist, daß er um den Aufhängepunkt drehbar ist, wie in Fig. 13, in welcher die Kugel K durch den Faden F in C aufgehängt ist. Das Pendel ist in Ruhe, wenn seine Richtung senkrecht ist, d. h. nach dem Mittelpunkt der Erde zeigt, denn dahin strebt der schwere Punkt des Pendels zu fallen und wird daran durch die Festigkeit des Fadens verhindert. Wird das Pendel aus der senkrechten Lage herausgehoben nach L (denn in der Ruhelage (K) befindet sich der schwere Punkt des Pendels in seiner tiefsten Stellung), so beginnt es zu fallen, sein schwerer Punkt sucht die tiefste Lage wieder zu erreichen, (und zwar auf einer Kreislinie, (L K) die wir bei kleinen Schwingungen als schiefe Ebene auffassen können. Die Geschwindigkeit der Pendelbewegung wird, weil das Pendel durch die Schwerkraft zu seiner tiefsten Lage fällt, mit jedem Augenblick sich vermehren, bis sie in dem Moment, in welchem das Pendel seine Gleichgewichtslage erreicht, am größten ist. Allein nun verhindert das Beharrungsvermögen, daß das Pendel in Ruhe bleibt, es muß mit derselben Geschwindigkeit, mit der es in die Gleichgewichtslage eintritt, diese überschreiten, also nach der entgegengesetzten Seite in die Höhe stei-

Fig. 13.



gen (bis M.) Diesem Ansteigen wirkt die Schwerkraft entgegen, in jedem Augenblick die Geschwindigkeit vermindernd, bis letztere völlig überwunden, gleich Null geworden ist. In diesem Moment ist aber das Pendel nicht in seiner Gleichgewichtslage, es sucht dieselbe wieder zu erreichen, und so beginnt die zweite Schwingung, die genau so verläuft, wie die erste. Was uns hier in erster Linie interessiert, ist, daß die Bewegungsgeschwindigkeit des schwingenden Pendels zuerst eine kontinuirlich wachsende ist, bis sie am größten ist in dem Moment, wo das Pendel seine Gleichgewichtslage passiert, dann eine kontinuirlich sich verringernde, bis sie am kleinsten, d. h. gleich Null wird, in dem Moment, in welchem das Pendel seine höchste Stellung, seine größte Abweichung von der Gleichgewichtslage erlangt hat.

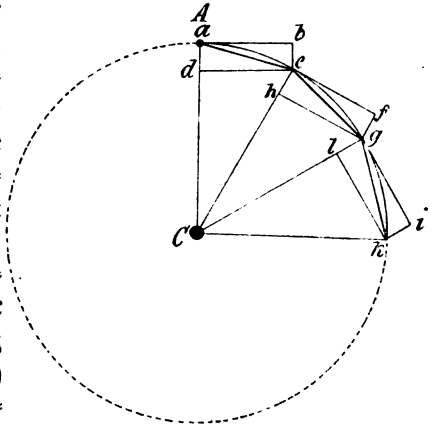
Fig. 14.



Denselben Schwingungsgesetzen werden wir natürlich überall da begegnen, wo irgend ein Körper aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht wird, und irgend eine kontinuierlich wirkende Kraft ihn wieder in die Gleichgewichtslage hineinzubringen bestrebt ist. Wenn wir z. B. das eine Ende eines Stahlstabs in einem Schraubstock befestigen und das andere Ende etwas aus der Ruhelage herausbringen, so wird der Stab vermöge seiner Elastizität schwingen, auch hier muß die Geschwindigkeit zunächst wachsen, bis der Stab seine Gleichgewichtslage und zugleich das Maximum seiner Schwingungsgeschwindigkeit erreicht hat. Mit letzterer überschreitet der Stab die Gleichgewichtslage, um mit jetzt stets abnehmender Schnelligkeit weiter zu schwingen, bis er sich ebenso weit von der Gleichgewichtslage entfernt hat, als er vorhin durch äußere Gewalt nach der entgegengesetzten Seite entfernt worden ist. In diesem Augenblick ist auch seine Kraft erschöpft, er bleibt eine unmeßbar kurze Zeit in Ruhe, um nun infolge seiner Elastizität die Gleichgewichtslage wieder zu erreichen u. s. f. Nach diesen Gesetzen schwingen z. B. die Zinken einer Stimmgabel, die Saiten einer Violine und aller Saiteninstrumente.

Dieselben Gesetze beherrschen auch die Bewegungen der Himmelskörper, nur daß diese nicht durch eine Gleichgewichtslage und demzufolge mit immer zunehmender Geschwindigkeit hindurchschwingen, sondern um eine Gleichgewichtslage herum. Um das Verständnis für diese Art von Bewegung nicht zu erschweren, wollen wir die, wenn auch nicht völlig zutreffende, so doch der Wirklichkeit sehr nahe kommende Annahme machen, die Bewegung der Himmelskörper sei eine kreisförmige. Wir haben dann nur nöthig, außer der kontinuirlich wirkenden Kraft der Anziehung des Zentralpunktes auf die Himmelskörper, also z. B. der Sonne auf die Planeten, noch die sog. Schwungkraft in betracht zu ziehen, d. h. die Kraft, welche beim Aufhören der Anziehungskraft durch den Zentralpunkt, der Centripentalkraft, die Himmelskörper in gerader Richtung, in der Richtung der Tangente, (daher auch als Tangentialkraft bezeichnet) sich fortzubewegen veranlassen würde.

Fig. 15.



In beistehender Figur 15 soll der Körper C den Körper a derartig anziehen, daß derselbe innerhalb irgend eines Zeitteilchens, z. B. einer Sekunde, sich bis d hin bewegen würde. Andererseits aber sei der Körper a durch eine zweite nur einmal wirkende Kraft veranlaßt, sich in der Richtung der Tangente a b so schnell zu bewegen, daß er, wenn diese Kraft allein auf ihn wirkte, innerhalb einer Sekunde von a bis b sich fortbewegen würde. Sobald beide Kräfte zugleich wirken, wird der Körper

a weder nach d noch nach b sich hinbewegen können, sondern wird in der Diagonale des Parallelogramms a b e d von a nach e gelangen müssen. In dieser Richtung würde der Körper a in jeder folgenden Sekunde um die Strecke a b fortschreiten, wenn er nicht durch die ununterbrochen wirkende Anziehungskraft von c wieder, und zwar jetzt in der Richtung e c angezogen würde. In dieser zweiten Sekunde würde er demnach durch die Anziehung von c allein von e bis h, durch die Schwungkraft allein von e bis f fortgetrieben, die vereinigte Wirkung beider läßt ihn in der Diagonale des Parallelogramms e f g h in der Richtung e g fortschreiten. In der dritten Sekunde würde er in Folge der Schwungkraft von g nach i, in Folge der Attraktionskraft von g nach l, also bei der gleichzeitigen Wirkung beider Kräfte von g nach k sich fortbewegen. Dabei haben wir jedoch angenommen, daß die Anziehungskraft von C in jeder Sekunde einmal ihre Wirkung auf a äußere. Da diese jedoch kontinuierlich erfolgt, d. h. die Zeitintervalle der einzelnen Wirkungen unendlich klein sind, muß die gebrochene Linie a e g k in eine Kreislinie sich umwandeln.

Dieselben Gesetze, welche die Bewegungen der Massen beherrschen, müssen selbstverständlich auch für die Bewegungen der kleinsten Massenteilchen, der Molekeln, Geltung haben.

Bewegung der Molekeln.

Da, wie oben erwähnt worden ist, aus allen Naturerscheinungen hervorgeht, daß die Molekeln in steter Bewegung sich befinden, so werden die Bewegungen bei festen und flüssigen Stoffen, bei denen eine gegenseitige Anziehung der Molekeln statt hat, Schwingungen sein müssen, entweder durch Gleichgewichtslagen hindurch, wie die Teilchen eines schwingenden Stabes, bei denen die Geschwindigkeit am größten ist in dem Moment, wo die Gleichgewichtslage passiert wird, und am kleinsten, wenn die Molekeln eben die äußerste Grenze erreicht

haben und eine neue Schwingung in entgegengesetzter Richtung eben beginnen, oder was viel wahrscheinlicher ist, die Schwingungen werden um Gleichgewichtslagen herum stattfinden und entweder kreisförmige oder elliptische sein. Bei den gasförmigen Stoffen, bei welchen keine gegenseitige molekulare Attraktion mehr vorhanden ist, bewegen sich die Molekeln in gerader Linie mit gleichbleibender Geschwindigkeit (da sie nicht durch Gleichgewichtslagen hindurch schwingen) fort, bis sie an andere Molekeln oder die Gefäßwand stoßen und zurückfliegen.

Fragen wir uns nun, was berechtigt uns zur Annahme derartiger molekularer Schwingungen bei den Stoffen in jedem der drei Aggregatzustände? Die Antwort darauf ist, daß alle Erscheinungen der Wärme am einfachsten dadurch erklärt werden können, daß wir annehmen, „Wärme" sei eben nichts anderes, als derartige Schwingungen der Molekeln, und mit den Worten „heiß, warm, kalt" bezeichnen wir die Intensität dieser Schwingungen. Die Molekeln unseres eigenen Leibes befinden sich selbstverständlich ebenfalls in ununterbrochenen Schwingungen, wenn wir nun irgend einen Körper, etwa ein Stück Eisen, dessen Molekeln in lebhafteren Schwingungen sich befinden, in die Hand nehmen, so werden an den Berührungsstellen die Eisenmolekeln unsere Handmolekeln durch die stärkeren Stöße zu lebhafteren Schwingungen veranlassen; wir sagen, das Eisen ist „warm", oder bei noch größerem Unterschied in der Energie der Schwingungen, das Eisen ist „heiß". Wenn hingegen die Eisenmolekeln weniger lebhafte Schwingungen machen als unsere Handmolekeln, so werden umgekehrt die Molekeln unserer Hand veranlassen, daß die Molekeln des Eisens zunächst an den Berührungsstellen stärker schwingen, unsere Handmolekeln werden genau so viel von ihrer Schwingungsintensität einbüßen, als die Eisenmolekeln an Schwingungsintensität gewinnen, und wir sagen, das Eisen ist „kalt". Im gewöhnlichen Leben vergleichen wir stets die molekulare Schwingungsintensität der verschiedenen Körper, wie der uns umgebenden Luft ꝛc., also die Wärme

derselben, mit derjenigen unseres Leibes. Für die objektive Betrachtung dagegen besitzt auch das Eis **Wärme**, denn auch im Eis befinden sich die Molekeln in Schwingungen, wenn diese auch minder lebhaft sind, und ebenso besitzt auch in der kältesten Winternacht die Atmosphäre Wärme.

> Wärme ist nach unserer heutigen Auffassung der Natur nichts anderes als der Schwingungszustand der Molekeln, je größer die Intensität der Schwingungen ist, d. h. je schneller und je stärker diese Schwingungen erfolgen, desto mehr Wärme ist vorhanden und umgekehrt.

Daraus folgt aber vor allem, daß die Wärme eine **Kraft** sein muß, denn um die Schwingungen der Molekeln zu vergrößern, um die Bewegung derselben stärker zu machen, bedürfen wir einer bestimmten Kraft.

Wenn wir irgend einem Körper Wärme zuführen, so vermehren wir aber nicht nur die Intensität der Schwingungen seiner Molekeln, sondern wir vergrößern auch zugleich deren Abstände von einander, der Körper **dehnt sich aus** beim Erwärmen. Derjenige Teil der Kraft, der zur **Ausdehnung** des Körpers verbraucht wird, kommt selbstverständlich nicht als **Wärme** zur Geltung, die lediglich die Schwingungsintensität repräsentiert. Das hat jedoch für unsere Betrachtung keine Bedeutung, da die Ausdehnung der Körper und ihre Erwärmung in einfachem Verhältnis zu einander stehen. Nur für die feinen Berechnungen der Größe der Kraft, welche wir in Form von Wärme einem Körper mitteilen, und der effektiven Erwärmung desselben, ist dieser Umstand von Wichtigkeit.

Durch Abkühlung, durch „Wärmeentziehung" wird demnach die molekulare Schwingungsintensität vermindert. Es ist demnach einleuchtend, daß durch fortgesetzte Wärmeentziehung diese Intensität schließlich gleich Null werden, die molekulare Bewegung gänzlich aufhören muß. Eine derartige Abkühlung praktisch auszuführen, sind wir nicht im Stande, es ist aber aus bei

Gasen beobachteten Erscheinungen, welche gleich besprochen werden sollen, die Temperatur, bei welcher jede molekulare Bewegung aufhören würde, berechnet und als bei 273° unter dem Nullpunkt des Celsius'schen Thermometers gefunden worden. Bei — 273° würde die Totenstarre der Natur eintreten.

Wie wir wissen, ist der Aggregatzustand eines Körpers abhängig von der gegenseitigen Anziehung seiner Molekeln. Diese Anziehung ihrerseits hängt ab von der Größe der Molekeln und von ihrem gegenseitigen Abstand von einander, und zwar müssen hier wiederum dieselben Gesetze gelten, wie bei der Anziehung der Massen selbst unter einander. Je größer die Masse eines Körpers ist, desto größer ist seine Anziehungskraft, beide stehen in einfachstem Verhältnis zu einander; ein Körper, der dreimal so viel Masse enthält, also dreimal so schwer ist, wie ein anderer, besitzt auch eine dreimal so große Anziehungskraft wie dieser. Dagegen nimmt die gegenseitige Anziehung zweier Körper ab, wenn der Abstand beider größer wird, und wird ein Viertel so groß, wenn der Abstand sich verdoppelt, sinkt auf ein Neuntel, wenn der Abstand sich verdreifacht, steigt dagegen auf das Vierfache, wenn die Entfernung der beiden Körper um die Hälfte, auf das Neunfache, wenn die Entfernung auf ein Drittel sich vermindert. Beide Beziehungen lassen sich kurz durch den Satz ausdrücken: Die gegenseitige Anziehung der Körper ist proportional der Masse und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung derselben.

Genau dasselbe müssen wir nun in betreff der gegenseitigen Attraktion der Molekeln annehmen. Je größer die Masse der Molekeln, desto größer, je größer der Abstand zwischen den Molekeln, desto kleiner (entsprechend dem Quadrat des Abstandes) ist die gegenseitige Anziehung. Da nun die Molekeln der verschiedenen Stoffe verschieden groß und ebenso ihr Abstand von einander verschieden ist, so kann naturgemäß bei derselben Temperatur nicht für alle Körper derselbe Aggregatzustand herrschen, mit Ausnahme der Temperatur in der Nähe von

— 273°, bei welcher alle Stoffe fest sein müssen. Ferner ist leicht einzusehen, daß, da durch Erwärmen der Körper nicht nur die Schwingungsintensität der Molekeln, sondern auch deren Abstand von einander vergrößert, demnach die gegenseitige Anziehung derselben geschwächt wird, die Körper durch Erhitzen dem flüssigen, endlich dem gasförmigen Zustand genähert werden, und daß bei genügend hoher Temperatur sämtliche Körper, falls sie dieselbe ohne völlige Zersetzung ertragen können, gasförmig sein müssen.

Betrachten wir die Ausdehnung, welche die Körper beim Erwärmen erleiden, etwas genauer, so werden wir es leicht begreiflich finden, daß dieselbe bei den verschiedenen Stoffen verschieden groß wird sein müssen für dieselbe Wärmezufuhr, d. h. für dieselbe diese Ausdehnung bewirkende Kraft. Die Vergrößerung des gegenseitigen Abstandes der Molekeln muß um so kleiner sein, je stärker die Molekeln sich gegenseitig anziehen, und um so größer, je geringer diese Anziehung ist. Da nun die gegenseitige Anziehungskraft der Molekeln für eine und dieselbe Temperatnr so außerordentlich verschieden ist bei den verschiedenen Körpern und bei den festen Körpern größer als bei den flüssigen, bei diesen größer als bei den gasförmigen, so werden die festen Körper beim Erwärmen von z. B. 0° bis 100° sich weniger stark ausdehnen als Flüssigkeiten, und diese weniger stark als Gase. Ferner wird ein jeder feste und flüssige Körper sein besonderes Ausdehnungsvermögen besitzen, das nur durch den Versuch mit dem betreffenden Körper ermittelt werden kann. So beträgt für die Erwärmung von 0° bis 100° die Volumenvergrößerung für je 10 000 Kubikcentimeter

Kupfer	51	Kubikcentimeter.
Blei	89	"
Eisen	37	"
Zink	89	"
Glas	26	"
Quecksilber	180	"

Für dieselbe Temperaturerhöhung ist demnach die Ausdehnung des Quecksilbers fast siebenmal so groß wie die des Glases.

Aber noch ein zweites Faktum wird uns leicht verständlich werden. Da mit steigender Temperatur, d. h. mit zunehmender Ausdehnung, der Abstand der Molekeln von einander vergrößert wird, und demzufolge die gegenseitige Anziehung derselben vermindert wird, so muß auch die Ausdehnung eines Körpers für dieselbe Temperaturzunahme bei höheren Temperaturen größer sein als für niedere. In der That steigt der Ausdehnungskoëffizient, d. h. die Volumenzunahme für je einen Grad Erwärmung mit zunehmender Temperatur. So beträgt die Volumenzunahme von 1000 Kubikcentimeter Quecksilber beim Erwärmen von 0^0 auf 100^0 18, beim Erwärmen von 200^0 auf 300^0 dagegen 19.2 Kubikcentimeter.

Wie gesagt liegt der Grund in der Verschiedenheit der Ausdehnung nicht nur bei den verschiedenen Stoffen, sondern auch bei einem und demselben Stoffe für verschiedene Temperaturen darin, daß die verschieden große gegenseitige Anziehung der Molekeln zu überwinden ist. Wie aber verhalten sich gasförmige Stoffe, bei welchen keine gegenseitige Molekularanziehung mehr vorhanden ist? Die Antwort ist nach dem Vorangegangenen leicht zu geben.

> Alle Gase dehnen sich beim Erwärmen um dieselbe Anzahl von Graden und bei allen Temperaturen gleich stark aus. Die Ausdehnung aller Gase beträgt für jeden Grad Celsius $^1/_{273}$ oder 0.003665 ihres Volumens.

Nach seinem Entdecker bezeichnet man dieses wichtige Gesetz als das Gay-Lussac'sche Gesetz.

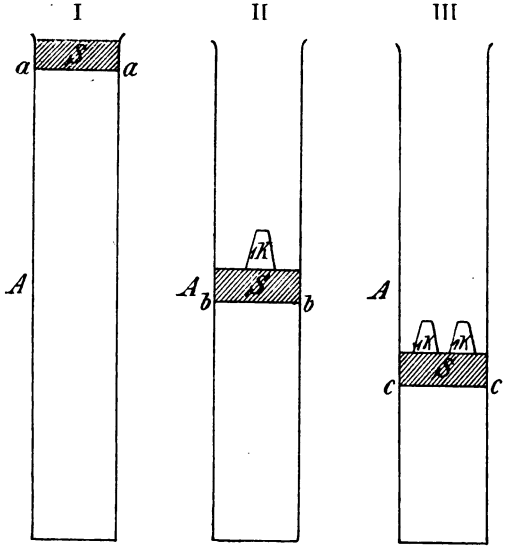
An die Besprechung der durch Temperaturänderung bewirkten Änderung im Volumen der Körper wollen wir die Betrachtung der anderweitigen Kräfte, welche eine Volumenänderung hervorrufen, sich anschließen lassen. Sowohl bei den festen Körpern, in welchen die Anziehung der Molekeln unter einander

mehr oder minder groß ist, als bei Flüssigkeiten, in denen diese Attraktion zwar sehr gering, jedoch noch vorhanden ist, erstreckt sich dieselbe nur auf eine unmeßbar kleine Entfernung hin. Wenn wir daher durch äußere Gewalt den Abstand der Molekeln in festen Körpern zu vergrößern suchen (bei Flüssigkeiten ist es überhaupt nicht möglich), wie durch Ausziehen, Umbiegen 2c. der Körper, so wird bald die Grenze, innerhalb welcher die molekulare Attraktion, „die Kohäsion", wirkt, überschritten, der Körper reißt, bricht 2c. Aber ebenso läßt sich umgekehrt der Abstand der Molekeln von einander in festen und flüssigen Körpern durch äußeren Druck nur sehr schwer vermindern, dem Zusammenpressen setzen diese Körper einen großen Widerstand entgegen, und auch bei Anwendung großer Kraft gelingt uns nur eine geringe Zusammenpressung derselben. Wir sind deshalb zu der Annahme gezwungen, daß die einzelnen Molekeln nur bis zu einer gewissen Grenze, die im festen und flüssigen Zustand nahezu erreicht ist, einander genähert werden können, daß sie sich nur innerhalb sehr enger Grenzen des gegenseitigen Abstandes anziehen, bei größerer Annäherung aber und dann mit äußerst stark zunehmender Kraft sich gegenseitig abstoßen. Bei den verschiedenen festen und flüssigen Körpern bewirkt derselbe Druck eine verschieden große Zusammenpressung, deren Größe für jeden einzelnen Körper durch das Experiment bestimmt werden muß.

Anders die Gase. Hier schwingen die Molekeln nicht mehr um Gleichgewichtslagen, die Entfernung der Molekeln von einander wird lediglich durch die Größe der Gefäße bestimmt, in denen die gasförmigen Stoffe sich befinden, hier werden wir auch eine größere Raumveränderung durch Druckveränderung erwarten dürfen. Aber bei den Gasen hat man nicht nur eine sehr starke Abhängigkeit des Volumens von dem Druck, dem sie unterworfen werden, beobachtet, sondern eine frappierende Übereinstimmung sämtlicher Gase unter einander, eine Übereinstimmung, aus welcher die weittragendsten Konsequenzen gezogen werden

konnten. Man hat nämlich gefunden, daß sämtliche Gase durch dieselbe Vermehrung des Drucks in genau gleicher Weise ihr Volumen vermindern und umgekehrt durch dieselbe Verminderung des Drucks um genau gleich viel ihr Volumen vergrößern. Denken wir uns in beistehender Figur 16 einen mit irgend einem Gase, etwa Luft, oder Leuchtgas ꝛc. gefüllten Cylinder A, dessen Öffnung durch einen luftdicht schließenden und

Fig. 16.



ohne Reibung verschiebbaren Stopfen s verschlossen ist. Dieser Stopfen habe das Gewicht von 1 Kilogramm. Alsdann drückt der Stopfen auf das Gas mit 1 Kilogramm Gewicht, und da der Druck bei Gasen nach allen Seiten hin in gleicher Stärke sich fortpflanzt, werden wir an jeder Stelle des Cylinders für eine ebenso große Fläche, wie die des Stopfens, von dem Gase einen Druck von 1 Kilogramm ausgeübt anzunehmen haben. Legen wir jetzt auf den Stopfen s ein Gewichtsstück von 1 Kilo-

gramm, so wird nun von dem Stopfen auf das Gas ein Druck von 2 Kilogramm ausgeübt, sofort sinkt auch der Stopfen von a bis b, wie bei dem Cylinder in Figur 16 II angedeutet ist, und nun ist das Volumen des Gases genau halb so groß wie zuerst. Legen wir auf den Stopfen ein zweites Kilogrammstück, so daß das Gas einen Druck von 3 Kilogramm erleidet, so sinkt der Stopfen sogleich bis c, wie bei dem Cylinder 16 III angedeutet ist, und das Gas nimmt jetzt nur den dritten Teil des ursprünglichen Volumens ein. Durch Verdoppelung des Drucks ist demnach das Volumen des Gases auf die Hälfte, durch Verdreifachung des Drucks auf ein Drittel reduziert worden. Es versteht sich von selbst, daß durch Verminderung des Drucks auf die Hälfte das Volumen des Gases auf das Doppelte steigt und durch Verminderung des Drucks auf ein Drittel das Volumen sich verdreifacht. Wir brauchen nur in unserem Beispiel die Gewichtsstücke von dem Stopfen zu entfernen, es würde sogleich der Stopfen aus seiner Stellung in c durch das Gas zuerst bis b (bei Wegnahme eines Kilogramms), dann bis a (wenn beide Kilogramme entfernt werden) gehoben werden. Diese Gesetzmäßigkeit läßt sich in die Worte fassen:

„Das Volumen eines Gases ist umgekehrt proportional dem auf ihm lastenden Druck."

Sie ist bereits lange, ehe man klare Anschauungen über das Wesen der Aggregatzustände besaß, zuerst von dem englischen Physiker Boyle vor zwei Jahrhunderten (1662) gefunden worden. Aber längere Zeit unbeachtet geblieben, ist sie von dem Franzosen Mariotte ohne Kenntnis der Boyle'schen Entdeckung noch einmal (1679) aufgefunden worden. Man bezeichnet sie jetzt gewöhnlich als das Mariotte'sche Gesetz.

Welche Folgerungen können wir aus dem eben Erfahrenen über die Natur der Stoffe im gasförmigen Zustande ziehen?

Der Raum, welchen irgend ein Körper einnimmt, wird außer durch die Größe der Masse bestimmt durch die Größe der Zwischenräume zwischen den einzelnen Molekeln. Ausdehnung

ist nichts anderes als Vergrößerung, Zusammenziehung nichts anderes als Verringerung der Abstände der Molekeln. Temperaturänderung und Druckänderung sind die einzigen Bedingungen, welche eine Raumänderung der Körper hervorrufen (wenn wir von der Vermehrung oder Verminderung der Masse absehen). In beiden Fällen sehen wir bei den gasförmigen Körpern eine überraschende Gesetzmäßigkeit herrschen, alle Gase verhalten sich derselben Änderung der Temperatur oder des Drucks gegenüber genau gleich. Wir können diese Erscheinung am einfachsten durch die Annahme erklären, daß

> bei gleichem Druck und gleicher Temperatur die Zwischenräume zwischen den Molekeln gasförmiger Körper gleich groß sind, und daß außerdem diese Zwischenräume so viel größer sind als die Molekeln selbst, daß die Größe der letzteren als verschwindend klein gegenüber der der ersteren angenommen werden kann.

Daraus folgt aber in einfachster Weise, daß unter gleichen Bedingungen, d. h. bei derselben Temperatur und demselben Druck, in gleichen Räumen gasförmiger Körper gleich viele Molekeln vorhanden sein müssen.

Es scheint bei oberflächlicher Betrachtung auffallend, daß wir bei gasförmigen Körpern die Zwischenräume zwischen den Molekeln unendlich viel größer annehmen, als die Masse der Molekeln, etwa so, wie wir im Weltenraum die Zwischenräume zwischen den Fixsternen unendlich viel größer sehen, als die Ausdehnung der Fixsterne selbst; aber abgesehen davon, daß schon durch Ausführung dieses Vergleichs obige Betrachtung viel von ihrem Überraschenden verliert, zeigt uns irgend ein Beispiel, etwa das Wasser, welches beim Übergang aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand, in Wasserdampf, sein Volumen um mehr als das 1600fache vergrößert, wenn der Druck und die Temperatur (100° Celsius) sich gleich bleiben,

daß bei Gasen die Zwischenräume zwischen den Molekeln außerordentlich groß sein müssen.

Obige zuerst von Avogadro aufgestellte Hypothese hat sich bis jetzt bei allen neuen Erfahrungen, die seitdem gemacht worden sind, vollständig bewährt.

Die bei festen und flüssigen Körpern vorhandene gegenseitige Anziehung der Molekeln wird sowohl durch Vermehrung des Abstandes der Molekeln von einander wie durch Vermehrung der Intensität der Schwingungen gelockert, und deshalb gehen feste Körper beim Erwärmen zunächst in den flüssigen, dann in den gasförmigen Zustand über. Dabei ist jedoch zu beachten, daß der Übergang aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand nicht so sehr eine Folge der Vermehrung des Abstandes der Molekeln von einander, als der Vermehrung der Intensität der Schwingungen zu sein scheint, weshalb die Ausdehnung fester Körper beim Übergang in den flüssigen Aggregatzustand nur gering ist, auch kaum vorhanden zu sein braucht. Im Allgemeinen findet bei den festen Körpern im Moment des Flüssigwerdens eine plötzliche Ausdehnung statt, es giebt jedoch auch Körper, welche bei der Verflüssigung ihr Volumen verringern. Das wichtigste Beispiel der letzteren Klasse von Körpern ist das Wasser. In dem Augenblick, wo das erstarrte Wasser, das Eis, schmilzt, tritt eine Volumenverminderung um etwa $^1/_{11}$ ein. Umgekehrt dehnt sich das Wasser beim Erstarren, beim Gefrieren, plötzlich sehr stark (um etwa $^1/_{10}$) aus. Das Eis ist demnach nur $^9/_{10}$ so schwer als ein gleiches Volumen Wasser von derselben Temperatur (0^0). Die Ausdehnung beim Gefrieren des Wassers findet mit so großer Kraft statt, daß wenn man eiserne Kugeln mit Wasser vollständig füllt, verschließt und dann abkühlt, die Kugeln plötzlich bersten. Darum wird auch die Temperatur, bei welcher ein Körper schmilzt, nur wenig beeinflußt werden dadurch, daß wir die Ausdehnung des Körpers, also die Entfernung der Molekeln von einander, durch Anwendung sehr starken, von außen ausgeübten Druckes zu ver-

hindern suchen. Dagegen ist das Aufhören der gegenseitigen Anziehung der Molekeln, also der Übergang in den gasförmigen Zustand, wesentlich abhängig von der Entfernung der Molekeln von einander, natürlich aber auch von der Intensität der molekularen Schwingungen. Darum wird die Temperatur, bei welcher irgend ein Stoff in den gasförmigen Zustand übergeht, sehr wesentlich abhängen von dem Druck, unter welchem der Stoff sich befindet. Je größer dieser Druck ist, je mehr durch äußere Kräfte die Molekeln einander genähert werden, desto höher wird die Temperatur sein müssen, d. h. desto intensiver werden die Molekularschwingungen werden müssen, um die Molekularattraktion zum völligen Verschwinden bringen zu können. Daher die längst bekannte Erscheinung, daß die Siedetemperatur eines Körpers um so höher liegt, je größer der auf der Flüssigkeit lastende Druck ist. Beim Wasser z. B. reicht die Schwingungsintensität, die wir als 0^0 bezeichnen, schon aus, um die molekulare Anziehung zu überwinden, wenn der auf dem Wasser lastende Druck pro Quadratcentimeter nur 0.625 Gramm beträgt, oder wie wir es gewöhnlich ausdrücken, wenn die Tension des Dampfes einer Quecksilbersäule von 0.46 Millimeter das Gleichgewicht hält; dagegen müssen wir die Schwingungsintensität der Wassermolekeln vermehren bis zu dem Maße, das wir 100^0 nennen, wenn der auf dem Wasser lastende Druck pro Quadratcentimeter 1033 Gramm (das entspricht dem Druck unserer Atmosphäre) beträgt, und wenn dieser Druck pro Quadratcentimeter auf das Zehnfache vermehrt wird, dann genügt erst die Schwingungsintensität der Molekeln, die wir 180^0 nennen, um die molekulare Anziehung zu überwinden. Wir sagen deshalb, das Wasser kocht unter dem Druck unserer Atmosphäre bei 100^0, unter dem Druck von 10 Atmosphären bei 180^0, dagegen unter dem Druck von etwa dem sechszehnhundertfünfzigsten Teil der Atmosphäre schon bei 0^0. Umgekehrt werden wir die allgemein bekannte Thatsache, daß man Gase durch starkes Zusammenpressen zu Flüssigkeiten kondensieren kann, leicht begreiflich finden,

ebenso wie die Thatsache, daß zur Kondensation eines Gases ein um so höherer Druck erforderlich ist, je höher die Temperatur ist.

Allein ebenso leuchtet ein, da nicht lediglich die Entfernung der Molekeln von einander, sondern auch die vermehrte Schwingungsintensität die gegenseitige Anziehung derselben beeinflußt, daß es einen Zustand geben muß, wo die Schwingungsintensität allein schon fähig ist, die Molekularattraktion völlig aufzuheben; wir werden alsdann die Erscheinung wahrnehmen, daß ein gasförmiger Körper auch durch die allerstärkste Zusammenpressung nicht zur Flüssigkeit wird kondensiert werden können, ebenso wie daß eine Flüssigkeit, lediglich durch Erhitzen, trotz des größten auf ihr lastenden Drucks in Gas sich wird verwandeln müssen. Seit langer Zeit schon hat man sich vergeblich bemüht, die einfachsten gasförmigen Stoffe zu Flüssigkeiten zu kondensieren, so hat z. B. der Mechaniker Natterer, welcher einen sehr praktischen Apparat zur Kondensierung der Kohlensäure konstruiert hat, in einem solchen Apparat Wasserstoff bei 0° einem Druck von 3000 Atmosphären ausgesetzt, ohne denselben verflüssigen zu können. Man nannte daher solche durch stärksten Druck nicht kondensierbare Gase, außer Wasserstoff noch Sauerstoff, Stickstoff und einige wenige andere, permanente Gase. Da beobachtete Andrews, als er flüssige Kohlensäure in einem allseitig geschlossenen Glasrohr vorsichtig erwärmte, um die Ausdehnung der Flüssigkeit zu bestimmen, daß bei 31.5° plötzlich die Gesamtmasse der Flüssigkeit in einen feinen Nebel sich verwandelte und gleich darauf völlig verschwunden war. Bei 31.5° hatte demnach die flüssige Kohlensäure ganz unabhängig von dem ungeheuren Druck, unter dem sie sich befand, in Gas sich verwandelt. Sehr bald fand er, daß auch andere verflüssigte Gase dieselbe Erscheinung darboten, so z. B. die unter gewöhnlichem Atmosphärendruck bei — 10° kochende schweflige Säure bei 83°, daß sogar bei gewöhnlicher Temperatur flüssige Stoffe, wie namentlich das Wasser, bei genügend hoher Temperatur in den gasförmigen

Zustand übergehen, ganz unabhängig von dem Druck, unter welchem sie sich befinden. Das Wasser z. B. bei 312°. Die Temperatur, bei welcher ein Körper bei jedem Druck in den gasförmigen Zustand übergeht, wurde der absolute Siedepunkt oder der kritische Temperaturpunkt genannt. Dadurch war es klar geworden, daß die älteren Versuche, die sog. permanenten Gase zu verflüssigen, nur deshalb negativen Erfolg gehabt hatten, weil die Versuchstemperaturen stets oberhalb des absoluten Siedepunkts der betreffenden Gase gewesen waren. Man nahm diese Versuche wieder auf und suchte die erwähnten Gase bei möglichst niederen Temperaturen, 100—130° unter Null, zu komprimieren, und es wird wohl Jedermann noch erinnerlich sein, daß zugleich zwei Forscher, Pictet und Cailletet, völlig unabhängig von einander und mit ganz verschiedenen Apparaten, zu gleicher Zeit, gegen Ende des Jahres 1877, den Sauerstoff und den Stickstoff kondensiert haben, so daß die Bezeichnung „permanente" Gase aus der Wissenschaft hat schwinden müssen.

Wir werden nach den vorhergehenden Auseinandersetzungen als „absoluten Siedepunkt" denjenigen molekularen Schwingungszustand eines Stoffes bezeichnen müssen, bei welchem die Schwingungsintensität allein genügt, um die Molekularattraktion völlig aufzuheben. Je nach der größeren oder geringeren Masse der einzelnen Molekeln, d. h. je nach der mehr oder minder großen gegenseitigen Anziehung derselben, wird die Temperatur des absoluten Siedepunkts der Stoffe mehr oder minder hoch liegen müssen; während bei manchen Stoffen diese Temperatur jeden von uns erreichbaren Hitzegrad weit übersteigt, ist sie bei anderen so niedrig, daß sie nur mit großer Mühe überhaupt erreicht werden kann.

Bei dem großen Interesse, welches die Kondensierung der früher als permanent bezeichneten Gase darbietet, möge hier die Besprechung der Art und Weise, wie diese Verflüssigung bewerkstelligt worden ist, einen Platz finden. Vorerst sollen jedoch die

Methoden besprochen werden, welche uns gestatten, eine so niedrige Temperatur, wie — 100° bis — 130° zu erzeugen.

Alle festen Stoffe bedürfen zu ihrem Übergang in den flüssigen, ebenso alle flüssigen Körper zu ihrem Übergang in den gasförmigen Zustand einer beträchtlichen Menge Wärme. Mischt man z. B. ein Kilogramm Wasser von 0° mit einem Kilogramm Wasser, welches 80° heiß ist, schnell mit einander, so wird selbstverständlich die Wärme beider Quantitäten Wasser durch einander ausgeglichen und die Mischung wird eine Temperatur von 40° besitzen. Wird dagegen auf ein Kilogramm Eis, das eben im Schmelzen begriffen ist, also die Temperatur von 0° besitzt, ein Kilogramm 80° heißen Wassers gegossen, so schmilzt das Eis schnell, aber ein in die Mischung tauchendes Thermometer zeigt trotz des hinzugefügten heißen Wassers die Temperatur von 0°. Sämtliche Wärme, welche zum Erhitzen des Kilogramms Wasser von 0° bis auf 80° nothwendig gewesen war, ist verbraucht worden, um eine gleiche Quantität Eis von 0° in den flüssigen Zustand, in Wasser von 0° überzuführen. Umgekehrt wird dieselbe Menge Wärme wieder erzeugt, wenn flüssiges Wasser fest wird, wie man sich leicht durch folgenden Versuch überzeugen kann. Wenn nämlich Wasser unter Luftabschluß, etwa unter einer Ölschicht, an einem ruhigen Ort langsam abgekühlt wird, gelingt es leicht, es auf — 10° bis — 12° abzukühlen, ohne daß es erstarrt, durch jede Erschütterung wird es aber sofort zum Gefrieren gebracht. Läßt man nun ein Thermometer in so stark abgekühltes Wasser tauchen, so beobachtet man, sobald man das Gefäß schüttelt, mit der Eisbildung ein äußerst schnelles Steigen des Quecksilbers bis auf 0°. Weiter kann selbstverständlich das Thermometer nicht steigen, weil sonst das Eis wieder schmelzen müßte. Und dabei erstarrt nicht etwa die gesamte Masse des Wassers, sondern nur ein Teil, da schon durch die teilweise Erstarrung die Wärmeentwickelung hinreichend ist, um die Temperatur der gesamten Wassermasse von — 12° bis 0° zu erhöhen.

Ferner wird sehr viel Wärme verbraucht, um die Stoffe aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand, um z. B. flüssiges Wasser in Wasserdampf, überzuführen. Das Wasser erfordert zu diesem Übergange etwa 540 Wärmeeinheiten, d. h. um ein Kilogramm flüssigen Wassers von 100° in Wasserdampf von 100° zu verwandeln, müssen wir demselben soviel Wärme zuführen, als nötig ist, um 540 Kilogramm Wasser um einen Grad zu erwärmen. Genau dieselbe Wärmemenge wird wieder erzeugt, wird wieder frei, wie der technische Ausdruck lautet, wenn der Wasserdampf zu flüssigem Wasser kondensiert wird. Wenn man ein Kilogramm Wasserdampf von 100° in 630 Kilogramm Wasser von 10° einleitet, so wird sämtlicher Dampf verdichtet, zugleich nimmt aber die gesamte Menge des Wassers (schließlich 631 kg.) die Temperatur von 11° an. Es ist demnach das eine Kilogramm Wasserdampf von 100° zuerst verflüssigt und dann das entstandene Wasser von 100° auf 10°, also um 90° abgekühlt worden. Die durch letztere Abkühlung disponibel gewordene Wärmemenge ist selbstverständlich nur imstande, 90 Kilogramm Wasser von 10° auf 11°, d. h. um einen Grad in ihrer Temperatur zu erhöhen, folglich ist die gesamte weitere Wassermasse (630—90), d. h. die 540 Kilogramm, lediglich dadurch um einen Grad erwärmt worden, daß ihr die Wärmemenge, welche durch die Kondensation des Dampfes zu flüssigem Wasser frei wird, zugeführt worden ist. Man hat sowohl die erforderliche Schmelzwärme, wie die Verdampfungswärme bei vielen Stoffen bestimmt und als Wärmeeinheit diejenige Menge angenommen, welche nötig ist, um dieselbe Quantität Wasser um einen Grad in der Temperatur zu erhöhen. In folgender kleinen Tabelle sind die wichtigsten Stoffe verzeichnet:

Schmelzwärme:		Verdampfungswärme:	
Eis	80,0	Wasser	535,8
Salpeter . .	47,4	Holzgeist	263,9
Chilisalpeter .	63,0	Weingeist	208,8
Kochsalz . .	40,7	Schwefeläther . .	91,1

Schmelzwärme:		Verdampfungswärme:	
Zink . . .	28,1	Essigäther . . .	105,8
Silber . . .	21,1	Terpentinöl . . .	68,7
Blei . . .	5,4	Jod	24,0
Schwefel . .	9,4	Schwefelige Säure .	94,6

Es sind demnach sowohl die erforderliche Schmelzwärme wie die Verdampfungswärme bei den verschiedenen Stoffen sehr verschieden, immer aber sehr beträchtlich. Dieser Wärmeverbrauch beim Schmelzen und Verdampfen bleibt für jeden Körper derselbe, gleichgiltig ob die erforderliche Wärmemenge von außen zugeführt wird (durch Erwärmen) oder nicht. In letzterem Falle wird die erforderliche Wärmemenge einfach der gesamten Umgebung des schmelzenden Körpers entzogen. Wenn wir Wasser offen stehen lassen, so verdunstet es. Jedes Gramm verdunsteten Wassers entzieht aber seiner Umgebung, d. h. der übrigen Masse des Wassers, dem Gefäß, den nächsten Luftschichten ꝛc., die zu seinem Übergang in den Gaszustand erforderliche Wärmemenge: die gesamte Umgebung wird durch das verdunstende Wasser abgekühlt. Darum ist an den Seeküsten der Sommer kühl. Darum bleibt Wasser in den Alkarazzas, d. h. den porösen Thongefäßen, deren man sich in Spanien zur Aufbewahrung des Wassers bedient und die das Wasser langsam an die Außenwand durchsickern und dort verdunsten lassen, auch im warmen Zimmer kühl. Aber ebenso muß sich Wasser, wenn wir Kochsalz darin auflösen, wobei das Salz sich verflüssigen muß, abkühlen, da das Salz gezwungen ist, die zu seiner Verflüssigung erforderliche Wärmemenge fast ausschließlich dem Wasser zu entziehen.

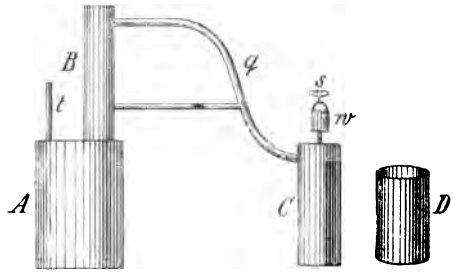
Mischt man zerkleinertes Eis oder Schnee mit Kochsalz zusammen, so schmilzt in Folge der Neigung des Salzes, sich aufzulösen, das Eis, und es wird sowohl für das schmelzende Eis wie für das sich lösende Salz Wärme verbraucht. Es muß daher die Mischung während des Schmelzens sich abkühlen, und das geschieht in der That so weit, als dieselbe sich überhaupt

abkühlen kann, d. h. bis zu der Temperatur, bei welcher eine gesättigte Kochsalzlösung erstarrt, bis — 21°. Es ist allgemein bekannt, daß man zur Bereitung von Fruchteis ꝛc. sich derartiger Mischungen von Eis und Salz bedient, man bezeichnet sie als Kältemischungen.

Man benutzt ferner die Abkühlung, welche bei dem ohne äußere Wärmezufuhr erfolgenden Verdampfen der Stoffe bewirkt wird, zur Erzeugung niederer Temperaturen in großem Maßstabe zur künstlichen Eisbereitung. Es ist bekannt, daß fast sämtliche Gase schon bei gewöhnlicher Temperatur durch Zusammenpressen zu Flüssigkeiten kondensiert werden können. Es übt alsdann die auf der Flüssigkeit lagernde Gasschicht einen hohen Druck auf die Gefäßwandungen aus. Selbstverständlich können derartig verflüssigte Gase nur in allseitig luftdicht verschlossenen und sehr widerstandsfähigen Gefäßen aufbewahrt werden. Wenn wir nun ein mit einem verflüssigten Gase gefülltes Gefäß öffnen, so wird mit großer Gewalt das Gas herausströmen, die Flüssigkeit wird heftig aufkochen und schnell wiederum in Gas sich verwandeln. Dabei muß sie aber, da sie sämtliche erforderliche Wärme zur Umwandlung in den Gaszustand für die ersten sich verflüchtigenden Teile hergeben muß, sich sehr stark abkühlen, und in der That kühlt sie sich schnell bis zu der Temperatur ab, bei welcher das betreffende Gas ohne größeren Druck als den unserer Atmosphäre sich verflüssigen würde. So z. B. ist der bekannte Salmiakgeist, der im Handel in Wasser gelöst als farblose Flüssigkeit vorkommt, in reinem Zustande ein Gas, welches nach den Untersuchungen von Bunsen bei 20° durch einen Druck von 8.8 Atmosphären, bei 0° schon durch 4.8 Atmosphärendruck, dagegen unter gewöhnlichem Luftdruck bei — 33.7° sich verflüssigt. In Wasser außerordentlich leicht und in um so größerer Quantität, je niedriger die Temperatur gehalten wird, löslich, kann das Gas doch durch Erwärmen der Lösung vollständig wieder daraus vertrieben werden. Darauf hat Carré die nach ihm benannten

Eismaschienen konstruiert, deren einfachste Form in beistehender Figur 17 wiedergegeben ist.

Fig. 17.



A ist ein aus starkem Eisenblech gefertigtes Gefäß, welches zu etwa $^3/_4$ mit einer möglichst konzentrierten wässerigen Lösung von Salmiakgeist angefüllt ist. Mit ihm in luftdichter Verbindung steht die weite Röhre B, aus welcher das enge Rohr q sich abzweigt und in das Gefäß C, das etwa $^1/_4$ so groß ist als A, mündet. Um die Temperatur beobachten zu können, ist in A eine unten geschlossene Röhre eingesetzt, in welche man das Thermometer t einsenkt. Wenn nun das Gefäß A erhitzt wird, so entweicht aus der Flüssigkeit der Salmiakgeist gasförmig durch B und q nach C; da aber der ganze Apparat allseitig verschlossen ist, so preßt sich das Gas in C allmählich zur Flüssigkeit zusammen. Um die hierdurch erzeugte Erwärmung zu vermeiden, taucht man C in ein großes Gefäß mit kaltem Wasser. Damit ferner unnöthiger Überdruck vermieden wird, treibt man aus dem Apparat die Luft aus, indem man zunächst A vorsichtig auf nur 30 bis 40° erwärmt und zugleich durch eine Schraube s das Gefäß C öffnet. Dieses Gefäß steht nämlich durch ein enges und durch die Schraube s verschließbares Röhrchen in Verbindung mit einem kleinen Gefäß w, welches mit Wasser gefüllt ist. So lange Luft in dem Apparate ist, entweicht dieselbe in Blasen durch das Wasser, sobald aber alle Luft verdrängt ist, wird der jetzt allein nach w gelangende Salmiakgeist von dem Wasser völlig absorbiert, es gehen keine Blasen mehr durch das Wasser. Man verschließt nun das Gefäß C und erhitzt, während C in kaltes

Wasser taucht, das Gefäß A allmählich bis 130°. Dadurch vertreibt man aus A allen Salmiakgeist, in A bleibt nur noch Wasser, und der Salmiakgeist befindet sich, mit Ausnahme der kleinen Menge, welche gasförmig über dem Wasser in A, ferner in B und in q zurück bleibt, verflüssigt in C. Darauf entfernt man das Feuer von A und das Wassergefäß von C, stülpt über letzteres die dünne Kupferhülse D, setzt beide (C mit D) in ein großes Gefäß mit frischem Wasser und taucht schließlich A in kaltes Wasser. Das Wasser in A beginnt sich abzukühlen, löst den darüber befindlichen gasförmigen Salmiakgeist auf, sofort strömen neue Mengen Gases aus B nach A und natürlich aus C nach B. Der verflüssigte Salmiakgeist in C beginnt heftig zu kochen, kühlt sich stark ab und verwandelt durch Mitteilung seiner niederen Temperatur in kurzer Zeit die gesamte Wassermasse, welche C umgiebt, in Eis. Nun kann man wieder A erwärmen und beliebig oft durch abwechselndes Erwärmen und Abkühlen von A mit derselben Menge Salmiakgeist jede Quantität Wasser in Eis umwandeln.

Die Temperaturerniedrigung durch Verdampfenlassen eines durch Druck verflüssigten Gases ist um so größer, bei je niedrigerer Temperatur das betreffende Gas ohne Anwendung höheren Drucks sich verflüssigt, und je schneller die Verdampfung vor sich geht. Letzteres ist leicht verständlich, wenn wir berücksichtigen, daß ebenso, wie heiße Körper durch die umgebende Luft sich schnell abkühlen, auch sehr kalte Körper durch Aufnahme der Wärme der umgebenden Luft ihre niedere Temperatur mit der Umgebung auszugleichen suchen. Wenn wir daher langsam ein verdichtetes Gas verdampfen lassen, so wird zwar genau dieselbe Wärmemenge verbraucht, aber von der gesamten Masse der Luft des Zimmers ꝛc. hergegeben, so daß wir an einem Thermometer bei dem verflüssigten Gase selbst nur eine geringere Temperaturerniedrigung werden beobachten können.

Die allgemein bekannte Kohlensäure ist ein Gas, welches sich bei 0° durch einen Druck von 36 Atmosphären komprimieren

läßt. Unter gewöhnlichem Luftdruck siedet es bei — 78°, aber schon bei — 65° erstarrt es zu einer schneeähnlichen Masse. Wenn man daher Kohlensäure in einem Gefäß zur Flüssigkeit kondensiert hat und aus diesem Gefäße ausgießt, so erstarrt, während ein Teil schnell verdampft, der größere Teil der Flüssigkeit zu einer schneeähnlichen Masse, zu fester Kohlensäure.

Wir sind also, wie wir sehen, durch Verdampfenlassen flüssiger Kohlensäure unter gewöhnlichem Luftdruck bereits im Stande, eine Temperaturerniedrigung bis wenigstens — 65° hervorzurufen. Wir vermögen aber eine noch weit größere Kälte zu erzeugen, wenn wir die verflüssigte Kohlensäure in einen luftleeren Raum treten lassen. Freilich verdampft hierbei ein weit größerer Teil der Flüssigkeit und weit schneller, so daß wir genötigt sind, weit größere Mengen von Kohlensäure zuerst zur Flüssigkeit zu kondensieren. Die Temperatur, welche man in letzterem Falle erreicht, beträgt etwa — 100°.

Wählt man statt der Kohlensäure ein anderes, ebenfalls leicht in großen Mengen herstellbares Gas, das sog. Äthylen, so kann man noch stärkere Abkühlung erreichen. Das Äthylen bedarf bei 0° zu seiner Verflüssigung eines Drucks von 42 Atmosphären, unter gewöhnlichem Luftdruck siedet es bei — 102°, und wenn man es im luftleeren Raum verdampfen läßt, so kann man eine Temperatur von — 136° damit hervorrufen.

Die Verflüssigung der früher als permanent bezeichneten Gase geschieht in neuester Zeit in der Weise, daß man das in einer dickwandigen engen Glasröhre befindliche Gas mittelst einer hydraulischen Presse zusammendrückt. Die Röhre selbst ist von einem weiteren Gefäße umgeben, in welchem verflüssigtes Äthylen sich befindet. Selbstverständlich sind an dem komplizierten Apparat auch Vorrichtungen zur Messung des Druckes und der Temperatur vorhanden. Nach den neuesten Bestimmungen liegt z. B. der absolute Siedepunkt des Sauerstoffs bei — 113° und verflüssigt sich derselbe zu einer farblosen

Flüssigkeit bei — 131.6° durch den Druck von 26.5 Atmosphären,
bei — 133.4° „ „ „ „ 24.8 „
bei — 135.8° „ „ „ „ 22.5 „

Der absolute Siedepunkt des Stickstoffs liegt noch unterhalb — 136°. Trotzdem ist derselbe, wenn auch nur für wenige Augenblicke, zur Flüssigkeit kondensiert worden, indem ein einfacher Kunstgriff zur Erzeugung einer noch niedrigeren, freilich nicht meßbaren Temperatur angewendet worden ist.

Beim Zusammenpressen der Gase wird nämlich Wärme erzeugt, die sich, wenn die Zusammenpressung sehr schnell erfolgt, bis zur Glühhitze steigern kann. In derselben Weise wird selbstverständlich durch Ausdehnung der Gase Wärme verbraucht, und zwar ist die momentane Abkühlung um so größer, je schneller die Ausdehnung erfolgt, weil alsdann die Wärme dem Gase durch die Umgebung nicht so schnell wieder zugeführt wird. Man hat deshalb den Stickstoff dadurch verflüssigt, daß man ihn zunächst bei — 136° bis auf den Druck von 150 Atmosphären zusammengepreßt hat und ihn dann durch plötzliche Verminderung des Drucks bis auf 50 Atmosphären auf das Dreifache sich hat ausdehnen lassen. Man sieht ihn alsdann für wenige Sekunden zur farblosen Flüssigkeit sich verdichten.

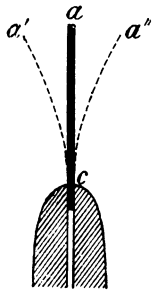
Zur Messung der Temperatur kann man sich bei diesen Experimenten nicht mehr des Quecksilberthermometers bedienen, weil das Quecksilber bei — 40° erstarrt. Als Thermometer werden den gewöhnlichen Thermometern ähnliche, aber mit Wasserstoff gefüllte Gefäße benutzt. Zur Messung des Drucks dienen Manometer, wie man sie bei allen Dampfkesseln gebraucht.

Physikalische Erscheinungen.

Wie wir gesehen haben, ist von der Intensität der Bewegungen der Molekeln in den Massen zunächst die Form, unter welcher die Masse uns erscheint, der Aggregatzustand abhängig. Allein die wichtigsten physikalischen Erscheinungen, der

Schall, das Licht, und wie mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden kann, die Elektrizität, beruhen auf der Bewegung der Molekeln. Denken wir uns einen an einem Ende befestigten Stahlstab (Figur 18) aus seiner Gleichgewichtslage (a c) in die Lage a' c gebracht, so wird er vermöge seiner Elastizität mit immer steigender Geschwindigkeit in die Gleichgewichtslage und vermöge seines Beharrungsvermögens über diese hinaus mit stets abnehmender Geschwindigkeit bis zu der Lage a" c sich bewegen, dann wieder von a" bis a' schwingen u. s. f. Sind diese Schwingungen sehr langsam (wie sie z. B. beim Pendel sind), dann können wir dieselben mit den Augen verfolgen, wir können in jedem Augenblick die Lage des Stabes beobachten.

Fig. 18.



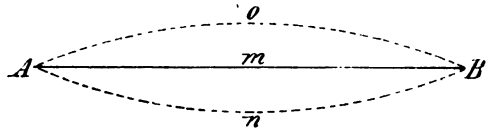
Werden die Schwingungen schneller, so schwindet für unsere Beobachtung die augenblickliche Stellung des Stabes, wir sehen nur ein breites Band von c a' bis c a". Das kommt daher, daß jeder Lichteindruck in unserem Auge einige Zeit nachwirkt, während wir daher den Stab in irgend einer Stellung zu sehen glauben, hat er bereits seine Schwingung vollendet und befindet sich bereits auf dem Rückweg in derselben Stellung. Jeder Lichteindruck wirkt in unserem Auge $^1/_{13}$ Sekunde; wenn demnach der Stab 13 mal in einer Sekunde hin- und herschwingt, also zu jeder Schwingung $^1/_{13}$ Sekunde braucht, so sehen wir ihn in allen Stellungen, welche er während der Schwingung einnimmt, zu gleicher Zeit. Aber wenn die Schwingungsgeschwindigkeit weiter zunimmt, so würde nach kurzer Zeit ein sehr tiefer Ton an unser Ohr klingen, sobald nämlich der Stab wenigstens sechszehnmal in einer Sekunde hin- und herschwingt. Steigt die Schwingungsgeschwindigkeit des Stabes noch weiter, so hören wir diese Bewegung als immer höheren und stärkeren, schließlich wieder schwächer werdenden Ton, der völlig verschwindet, wenn der Stab in jeder Sekunde etwa 36000 mal

hin- und herschwingt. Denken wir uns nun die Schwingungen noch immer an Geschwindigkeit zunehmen, so sind sie für unsere Sinne lange Zeit nicht mehr wahrnehmbar. Erst wenn der Stab in jeder Sekunde etwa 200 Billionen Schwingungen macht, beginnt unser Gefühl sie zu merken, in der Nähe des Stabes wird es *warm*, der Stab verbreitet *Wärme*. Die Wärme nimmt jetzt mit steigender Geschwindigkeit der Schwingungen zu und nach verhältnismäßig geringer Schwingungsgeschwindigkeitszunahme beginnt der Stab mit dunkelrotem Licht zu *leuchten*. Aber nun steigt schnell mit zunehmender Schwingungsgeschwindigkeit die Zunahme des Leuchtens des Stabes, letzterer wird bald gelbleuchtend, dann blauleuchtend, dann jedoch wieder allmählich dunkler, um, sobald seine Schwingungen etwa 800 Billionen mal in der Sekunde erfolgen, unserem Auge völlig zu entschwinden. Unsere Sinne sind wieder unfähig, seine Schwingungen direkt wahrzunehmen, aber wir können sie indirekt dadurch erkennen, daß eine mit Chlorsilber bedeckte Platte in seiner Nähe schnell dunkel wird. Bald jedoch findet auch diese Erscheinung nicht mehr statt, und nun scheint uns jede Möglichkeit zu fehlen, so außerordentlich schnelle Schwingungen noch erkennbar zu machen, wenn nicht, was wir jedoch noch nicht wissen, jetzt eine ganz neue Eigenschaft an dem Stabe hervortritt, nämlich die Elektrizität. Freilich werden wir nie und nimmer einen Stab in solche, für unser Verständnis unfaßbar schnelle Schwingungen versetzen können. Wohl aber sind wir im Stande, den Molekeln, welche an und für sich stets in äußerst schnellen Schwingungen sich befinden, so viel Kraft zuzuführen, daß die Geschwindigkeit ihrer Bewegung diese für den ersten Augenblick sinnverwirrende Größe erreicht.

Der Schall, die Wärme und das Licht (vielleicht auch die Elektrizität) sind nichts anderes als Formen, unter denen die *Bewegungen* der *Massen* und ihrer *Molekeln* uns zum Bewußtsein kommen. Durch regelmäßige Schwingungen fester, flüssiger oder gasförmiger Körper werden die *Töne* erzeugt,

wenn diese Schwingungen schneller als 16 mal und langsamer als 36000 mal in jeder Sekunde erfolgen. Wenn wir eine gespannte Saite aus ihrer Gleichgewichtslage AmB in die Lage AnB bringen, so schwingt sie in Folge ihrer Elastizität von AnB nach AoB und zurück, je stärker die Spannung der Saiten ist, desto schneller erfolgen die Schwingungen. Von der Schnelligkeit der Schwingungen hängt die Höhe der Töne ab, wie allgemein bekannt ist, während die Stärke des Tons von der Größe des Zwischenraums zwischen n und o, von der Amplitude der Schwingungen abhängt.

Fig. 19.



Dagegen sind ebenso wie die Wärme die Lichterscheinungen nichts anderes als die Folge von Schwingungen der Molekeln der Körper. Freilich kennen wir die Schwingungsart nicht, allein das ist für die Erklärung der Erscheinungen nebensächlich. Wichtiger für die letztere ist die Erklärung der Fortpflanzung des Schalls, der Wärme und des Lichts. Diese Fortpflanzung bis zu unseren Sinnesorganen, durch welche die Erscheinungen uns zum Bewußtsein kommen, geschieht ebenfalls durch Schwingungen, durch sogenannte Wellenbewegung. Nur haben wir von vornherein hierbei zu unterscheiden zwischen der Fortpflanzung des Schalls und der der Wärme und des Lichts. Der Schall kann sich nämlich durch die Bewegung der Molekeln fester, flüssiger oder gasförmiger Stoffe fortpflanzen und um so leichter, je dichter der Stoff ist, durch welchen er sich fortpflanzt. Wenn jemand an dem einen Ende eines langen Balkens mit dem Finger leise anklopft, so hört ein zweiter, der am anderen Ende des Balkens sein Ohr dicht an das Holz hält, das Klopfen sehr deutlich, während dasselbe für jemand, der viel näher dem

Klopfenden ist, aber sein Ohr nicht auflegt, nicht vernehmbar ist. Es pflanzt sich also der Schall durch Holz weit besser fort wie durch Luft. Dagegen findet im luftleeren Raum keine Fortpflanzung des Schalles statt. Die stärksten, lautesten Explosionen, welche oberhalb unserer Atmosphäre erfolgen, können von uns in keiner Weise wahrgenommen werden.

Anders bei Wärme und Licht. Die Wärme kann zwar sich von Körper zu Körper direkt mitteilen, durch Leitung sich fortpflanzen, beide aber vermögen auch durch den Weltenraum durch Strahlung zu uns zu gelangen. Empfangen wir doch auf unserer Erde alle Wärme und alles Licht von der Sonne, und sicherlich ist der Zwischenraum zwischen Erde und Sonne nicht von materiellen Körpern erfüllt. Man nahm daher früher an, daß die Wärme selbst ein Stoff sei, freilich dadurch verschieden von unseren gewöhnlichen irdischen Stoffen, daß sie völlig gewichtslos und von solcher Feinheit sei, daß sie in die Poren auch der dichtesten Stoffe einzudringen vermag und die Molekeln der gewöhnlichen Körper gleichsam umhülle. Dieser gewichtslose Wärmestoff werde auch mit unendlich großer Geschwindigkeit in kleinen Partikeln fortgeschleudert und dringe in kalte Körper, auf die er trifft, ein u. s. w. Es hat sich jedoch allmählich herausgestellt, daß diese Annahme eine große Zahl von Wärmeerscheinungen nicht zu erklären vermöge, sie hat daher aufgegeben werden müssen.

Ebenso suchte Newton die Fortpflanzung des Lichtes durch den Weltenraum dadurch zu erklären, daß er einen gewichtlosen Lichtstoff annahm. Jeder leuchtende Körper schleudere unendlich kleine Partikelchen dieses Stoffes mit äußerst großer Geschwindigkeit fort; in unser Auge gelangend rufen alsdann diese Partikelchen die Empfindung von Licht hervor. Aber trotzdem durch die Autorität eines Newton diese Annahme lange Zeit die herrschende blieb, mußte sie doch allmählich völlig verlassen werden, da die Zahl der Thatsachen, welche durch sie nicht mehr erklärt werden konnten, stetig zunahm.

So ist man denn dahin gelangt, eine andere Annahme, welche zuerst Huyghens, der Erfinder der Pendeluhren, aufgestellt hat, als die richtigere anzuerkennen, daß nämlich die Fortpflanzung des Lichtes in derselben Weise vor sich gehe, wie die des Schalls, oder wie die der Wellenkreise, welche man in einem stillen Gewässer durch Hineinwerfen eines Steins hervorruft. Und später hat man sich auch genötigt gesehen, die Fortpflanzung der Wärmestrahlen genau in derselben Weise zu erklären. Dazu mußte man aber eine weitere Annahme machen, nämlich die, daß der gesamte Weltenraum erfüllt sei von einem äußerst feinen und äußerst leichten Stoff, einem Stoff, den wir mit unseren Sinnen nicht direkt wahrzunehmen vermögen, der aber nicht nur die leeren Räume zwischen den Himmelskörpern erfüllt, sondern auch die Zwischenräume der Molekeln in festen, flüssigen und gasförmigen Körpern. Diesen den Weltenraum erfüllenden Stoff hat man Weltenäther oder auch Äther schlechtweg genannt. Bei der Fortpflanzung des Schalls werden die Molekeln der festen, flüssigen oder gasförmigen Körper selbst in Schwingungen versetzt, bei der Fortpflanzung der Wärme und des Lichts die Teilchen des Äthers.

Wir wollen nun versuchen, die Art dieser Schwingungen klar zu machen.

Wirft man einen Stein in ein stilles Wasser, so sieht man alsbald schnell größer werdende und sich fortbewegende Wellenkreise entstehen. Die Wasserteilchen selbst nehmen aber an dieser Fortbewegung nicht Anteil, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man ein Stückchen Holz auf das Wasser legt. Man sieht das Holz nur auf- und niedergehen, sonst aber an seiner Stelle bleiben. Durch das Hineinwerfen des Steins sind die Wasserteilchen der getroffenen Stelle zu gleicher Zeit hinunter und seitwärts gedrückt worden. Vermöge der Elastizität des Wassers suchen diese Teilchen wieder in ihre Gleichgewichtslage zurück zu gelangen, sie gelangen, wie früher mehrfach schon entwickelt worden ist, mit einer gewissen Geschwindigkeit in ihre Gleich-

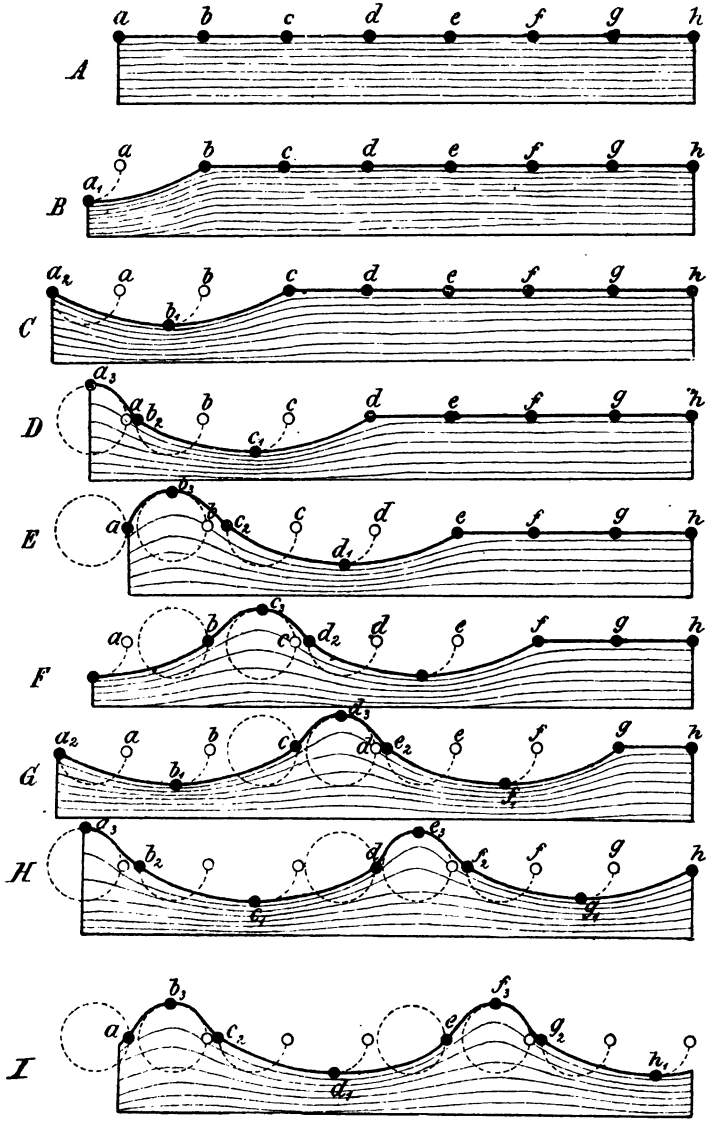
ewichtslage und schwingen vermöge ihres Beharrungsvermögens
ber diese aber soweit nach der entgegengesetzten Richtung hin-
us, als sie durch den Stein herausgebracht worden waren.
lsdann schwingen sie wieder zurück und würden dieses Spiel
nunterbrochen in gleicher Stärke fortsetzen, wenn nicht hemmende
räfte, namentlich die Reibung, sie allmählich wieder zur Ruhe
rächten. Diese Teilchen machen kreisförmige Schwingungen,
ie durch die beistehende Figur 20 anschaulich
emacht ist. Aber jedes dieser Teilchen veranlaßt
eim Wasser in Folge der gegenseitigen An-
ehung), sobald es eine kleine Strecke seiner
chwingung zurückgelegt hat, seine sämtlichen
achbarteilchen, ebenfalls diese Bewegung zu be-
innen. Der Einfachheit wegen wollen wir nur

Fig. 20.

e rechts liegenden Nachbarteilchen von a, wie in Figur 21,
etrachten und annehmen, daß das Teilchen b eben sich zu be-
egen beginnt, wenn a den vierten Teil seiner Schwingung zu-
ickgelegt hat, also in a_1 sich befindet. In den Figuren 21 A
s H, in welchen diese kreisförmige Bewegung der einzelnen
Vasserteilchen durch kleine punktierte Kreise und zu gleicher Zeit
e gegenseitige Stellung der Teilchen (a bis h) durch eine dickere
erbindungslinie anschaulich gemacht ist, zeigt uns die Fig. 21 A
e gegenseitige Lage derselben, so lange die Oberfläche des
Vassers eben, so lange der Ruhezustand vorhanden ist. In
igur 21 B sehen wir die beginnende Bewegung. Das Teilchen
hat den vierten Teil seiner Schwingung zurückgelegt und ver-
nlaßt in diesem Moment das Teilchen b, sich ebenfalls aus
iner Gleichgewichtslage heraus zu bewegen. Das Teilchen a
efindet sich in diesem Moment in der Stellung a_1. Sobald a
m eine Viertelschwingung weiter vorgeschritten, in a_2 angelangt
t, wie in Figur 21 C, hat b die erste Viertelschwingung zurück-
legt, ist nach b_1 gelangt und veranlaßt jetzt in gleicher Weise
as Teilchen c aus seiner Gleichgewichtslage heraus sich zu
wegen. Nach abermals einer Viertelschwingung von a, wo

dasselbe in a_3 sich befindet, wie in Figur 21 D, ist b bis nach b_2 gelangt, und während dieser Zeit ist c gezwungen worden, in derselben Weise wie vorhin b sich bis nach c_1 zu bewegen und sein Nachbarteilchen d zum Aufgeben seiner Ruhelage zu zwingen. Im nächsten Moment (Figur 21 E) ist Teilchen a in seine ursprüngliche Ruhelage zurückgelangt, zugleich ist b von b_2 bis b_3, c dagegen von c_1 bis c_2, und endlich d bis d_1 gekommen, und das Teilchen e fängt eben an, ebenfalls seine Ruhelage zu verlassen. In diesem Augenblick haben die fünf Teilchen a, b, c, d, e die durch die starke Linie angegebene gegenseitige Lage. Jedoch schwingt nun, wie in Figur 21 F angedeutet ist, a wieder bis a_1, b bewegt sich von b_3 bis b, d. h. bis zur ursprünglichen Gleichgewichtslage, c von c_2 bis c_3, d von d_1 bis d_2, und endlich e bis e_1. Ihre gegenseitige Lage ist durch die starke Linie der Figur 21 F ausgedrückt. Nach abermals einer Viertelschwingung ist die Lage der einzelnen Teilchen wie in Figur 21 G u. s. f. In der Zeit also, während welcher das Teilchen a eben eine Schwingung vollendet, teilt sich die Bewegung bis zum Teilchen e mit, das Teilchen a beginnt in demselben Moment seine zweite Schwingung, wo e die erste anzufangen sich anschickt. Wenn a seine zweite Schwingung vollendet hat, hat e eben seine erste ausgeführt, (Figur 21 J) befindet sich gleichfalls in diesem Augenblick an seinem ursprünglichen Ort und die Bewegung hat sich bis i fortgepflanzt, das Teilchen i will soeben seine erste Schwingung beginnen. So geht es denn fort. Ein jedes Teilchen bewegt sich nur in dem kleinen Kreise, der in den Figuren 21 A bis J punktiert ist; aber da jedes folgende Teilchen einen Moment später zu schwingen beginnt, wird die gegenseitige Stellung der Teilchen sehr stark verändert. Bei der Wellenbewegung des Wassers sehen wir nun nicht die Schwingungen der einzelnen Teilchen, sondern lediglich die gegenseitige Stellung der Teilchen auf der Oberfläche, die Oberfläche erscheint nicht mehr eben, wie in der Figur 21 A angedeutet ist, sondern zeigt Erhöhungen bei a_3 und e_3 und Vertiefungen bei c_1 und g_1.

Fig. 21.


A
a b c d e f g h
B
a a1 b c d e f g h
C
a2 a b b1 c d e f g h
D
a3 a b2 b c c1 d e f g h
E
a b3 b c2 c d d1 e f g h
F
a c3 b c d2 d e f g h
G
a2 a b b1 c d3 d e2 e f g h
H
a3 b2 d3 e3 d2 e2 f f g h
I
a b3 c2 d1 e f3 g2 h1

Die Erhöhungen werden als Wellenberge, die Vertiefungen als Wellenthäler bezeichnet. Die Entfernung von einem Wellenberge zum anderen, oder von einem Wellenthal zum anderen nennt man eine Wellenlänge. Betrachten wir zwei Teilchen, die gerade um eine Wellenlänge von einander verschieden sind, z. B. b und f in Figur 21 F, so sehen wir, daß beide genau in demselben Schwingungszustand sich befinden, beide streben in diesem Augenblick mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Richtung (nach links) aus der Stellung b_1, f_1 in die Stellung b_2, f_2 (Figur 21 G) zu gelangen. Dagegen befinden sich zwei Teilchen, die um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt sind, in entgegengesetzten Schwingungszuständen. So die Teilchen b und d. Während b nach links und nach oben hin schwingt, bewegt sich das Teilchen d in demselben Moment nach rechts und nach unten. Diese Gleichheit der Schwingungszustände bei zwei um eine ganze Wellenlänge von einander entfernten Teilchen findet in jeder Periode der Schwingung statt. In demselben Augenblicke durcheilen sie die Gleichgewichtslage, gelangen sie an den tiefsten Punkt des Wellenthals und an den höchsten Punkt des Wellenbergs, um wieder in demselben Augenblick die Gleichgewichtslage zu passieren. Ebenso befinden sich zwei um eine halbe Wellenlänge von einander entfernte Teilchen stets in entgegengesetzten Schwingungszuständen; wenn das eine die Gleichgewichtslage passiert, befindet sich das andere zwar in derselben Höhe, aber es bewegt sich in entgegengesetzter Richtung vorwärts, sobald das eine den höchsten Punkt eines Wellenberges erreicht, gelangt das andere an den tiefsten Punkt des Wellenthals u. s. f.

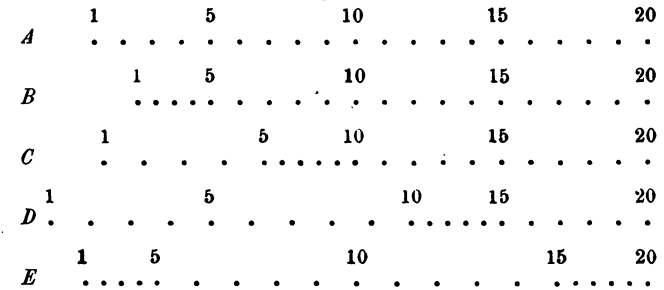
Die Geschwindigkeit, mit welcher die Wellen fortschreiten, d. h. wie weit der Punkt, bis zu welchem die Schwingungen innerhalb einer Sekunde sich fortpflanzen, von dem Anfangspunkt der Wellenbewegung sich entfernen, hängt in keiner Weise ab von der Schnelligkeit, mit welcher die einzelnen Teilchen ihre Kreise durchlaufen, noch auch von der Größe der Kreise, sondern

wird lediglich bedingt von der Natur des Stoffes; in unserem Falle also, bei den Wasserwellen, bleibt das Fortschreiten der Wellen stets dasselbe. In Quecksilber aber schreiten die Wellen schneller fort wie im Wasser. Die Größe der von den einzelnen Teilchen durchlaufenen Kreise bedingt die größere oder geringere Höhe und Tiefe der Wellen, die Intensität der Wellen. Endlich bedingt die Schnelligkeit, mit welcher die einzelnen Teilchen ihre Schwingungen machen, also die Zeitdauer, welche sie zur Vollendung je einer Schwingung gebrauchen, die Länge der einzelnen Wellen. Angenommen, die Wellen schritten in jeder Sekunde 100 Meter fort, jedes Teilchen braucht aber $^1/_{300}$ Sekunde zu jeder Schwingung, so würde während dieser Zeitdauer die Welle $^1/_3$ Meter fortschreiten. Sobald das Teilchen seine zweite Schwingung beginnt, fängt ein um $^1/_3$ Meter von ihm entferntes Teilchen seine erste Schwingung zu machen an. Da alle Schwingungen der einzelnen Teilchen bei derselben Wellenbewegung gleich schnell ausgeführt werden, so muß dieses um $^1/_3$ Meter entfernte Teilchen in demselben Schwingungszustand sich befinden, wie das erste Teilchen, eine Wellenlänge von ihm entfernt sein. Es ist also jede Welle $^1/_3$ Meter lang. Würde die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen 300 Meter in der Sekunde sein, jede Schwingung der einzelnen Teilchen aber $^1/_{20}$ Sekunde dauern, so würde die Länge der einzelnen Wellen, also die Entfernung je zweier in demselben Schwingungszustand befindlichen Teilchen, $^{300}/_{20}$ oder 15 Meter betragen.

Wie die Wellen im Wasser pflanzen sich Schall, Wärme und Licht fort, erstere durch die materiellen Körper, letztere Beide durch den Weltenäther. Wir wollen hier die Fortpflanzung des Schalls in der Luft betrachten, aber wieder der Einfachheit wegen nur die Fortpflanzung nach einer Richtung näher auseinandersetzen. Denken wir uns eine Anzahl Luftteilchen 1—20, alle in gleicher Entfernung von einander (Fig. 22) und das erste durch irgend eine Kraft etwas nach rechts hin in Bewegung gesetzt und sodann wieder zurückgezogen, so wird ver-

möge der Elastizität der Luft das Nachbarteilchen ebenfalls nach rechts hin sich bewegen, dann wieder zurückschwingen, kurz dieselbe Bewegung ausführen, wie das erste Teilchen, nur daß es die seinige einen Moment später beginnt. In gleicher Weise wird dasselbe sein Nachbarteilchen zu derselben Schwingung veranlassen, welches wiederum einen Moment später sich in Bewegung zu setzen beginnt und seinerseits das Teilchen 4 zum Schwingen veranlaßt. Die Stellung der 20 Teilchen nach $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$, und nach einer vollen Schwingung des Teilchens 1 sehen wir in den Figuren 22 B — E veranschaulicht. In der Nähe der Teilchen 15 der Fig. 22 D sehen wir eine Verdichtung der Luft, in der Nähe der Teilchen 1 eine Verdünnung.

Fig. 22.



Denken wir uns nun diese Fortpflanzung nach allen Richtungen hin mit gleicher Geschwindigkeit vor sich gehend, so werden in gleichem Abstande von dem zuerst in Schwingung versetzten Punkt, also in einer Kugelfläche, Verdichtungen und Verdünnungen der Luft entstehen und mit einer bestimmten Geschwindigkeit fortschreiten. Derartige Verdichtungen und Verdünnungen sind es, welche bei der Fortpflanzung des Schalls erzeugt werden.

Es sind also wie bei der Wellenbewegung des Wassers auch bei der des Schalls die innerhalb sehr enger Grenzen stattfin-

denden Bewegungen der einzelnen Teilchen wohl zu unterscheiden von der Fortbewegung des Schalls, die so weit hin erfolgt, als der Schall gehört werden kann, d. h. als eine Mitteilung der Schwingungen noch in so starkem Maße stattfindet, daß unser Trommelfell durch die Luftschwingungen ebenfalls in Schwingungen versetzt werden kann.

Wie schon oben erwähnt worden ist, hängt die Höhe eines Tons von der Schwingungsgeschwindigkeit der einzelnen Teilchen ab. Sobald die Zahl der Schwingungen in jeder Sekunde 16.5 erreicht, hören wir dieselben als tiefsten Ton (es ist Subcontra C). Die Schwingungsdauer für den tiefsten Ton beträgt demnach $^1/_{16.5}$ Sekunde. Jeder Ton macht doppelt soviel Schwingungen pro Sekunde wie seine nächst tiefere, und halb so viele, wie seine nächst höhere Oktave. Die Quinte eines Tons wird hervorgebracht, wenn je drei Schwingungen dieselbe Zeit brauchen wie zwei Schwingungen des Grundtons. Folgendes einfaches Zahlenverhältnis in bezug auf die Schwingungsdauer der einzelnen Töne findet statt. In genau derselben Zeit, in welcher Ton C 24 Schwingungen macht, machen: D — 27, E — 30, F — 32, G — 36, A — 40, H — 45, c — 48, d — 54, e — 60, f — 64, g — 72, a — 80, h — 90 ꝛc. Schwingungen. Oder während C eine Schwingung macht, machen D — $^9/_8$, E — $^5/_4$, F — $^4/_3$. G — $^3/_2$. A — $^5/_3$, H — $^{15}/_8$, c — 2, d — $^9/_4$, e — $^5/_2$, f — $^8/_3$, g — 3, a — $^{10}/_3$, h — $^{15}/_4$ Schwingungen.

Aber alle Töne pflanzen sich in demselben Stoff z. B. in Luft, mit gleicher Geschwindigkeit fort, sonst würde ja bei einem Konzert die Harmonie der Töne für alle diejenigen, welche nicht in einer ganz bestimmten Entfernung vom Orchester sich befinden, in Katzenmusik sich umwandeln. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen ist für die Luft 333 Meter in der Sekunde. In anderen gasförmigen Stoffen ist sie um so größer, je leichter und um so kleiner, je schwerer das betreffende Gas ist. So beträgt sie für

Sauerstoff, spez. Gew. 1.1026—317 Meter.
Kohlensäure, „ 1.542 — 262 „
Wasserstoff, „ 0.0688—1270 „

In flüssigen und festen Körpern ist sie bedeutend größer und beträgt für

Wasser — 1453 Meter.
Spiritus — 1157 „
Quecksilber — 1484 „

In Holz, Eisen, Glas ist sie etwa 16 mal so groß wie in Wasser. Es würde uns jedoch zu weit führen, die Methoden zur Auffindung der Schallgeschwindigkeit in den verschieden Stoffen hier auseinander zu setzen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft aber ist auf sehr einfache Weise dadurch ermittelt worden, daß man in Paris auf zwei etwa 18 Kilometer von einander entfernten Hügeln Kanonenschüsse abfeuerte und die Zeit beobachtete, welche zwischen dem Aufblitzen und dem Knall des auf dem gegenüberliegenden Hügel abgegebenen Schusses verstrich.

Wir haben noch den Fall kurz zu besprechen, der eintritt, wenn die Luftschallwellen an einen festen oder flüssigen Gegenstand stoßen. Durch die Schwingungen der Luftteilchen werden teilweise die Teilchen der Mauer, auf welche dieselben auftreffen, ebenfalls in Schwingungen geraten, es wird sich also zum Teil der Schall durch die Mauer hindurch fortpflanzen, teilweise aber werden die von der Mauer zurückprallenden Luftteilchen in entgegengesetzter Richtung eine Wellenbewegung veranlassen, es wird der Schall zum anderen Teil zurückgeworfen, reflektiert. Selbstverständlich gelten hier dieselben Gesetze wie bei allen elastischen Körpern, daß die Richtung der reflektierten Schallstrahlen genau dieselbe Neigung zur reflektierenden Fläche besitzen, wie die anprallenden Schallstrahlen. In dem besonderen Falle, wenn die Schallstrahlen senkrecht gegen die reflektierende Wand gerichtet sind, werden sie zu dem Punkte hin reflektiert, von wo sie ausgegangen sind. Und wenn die Wand weit genug

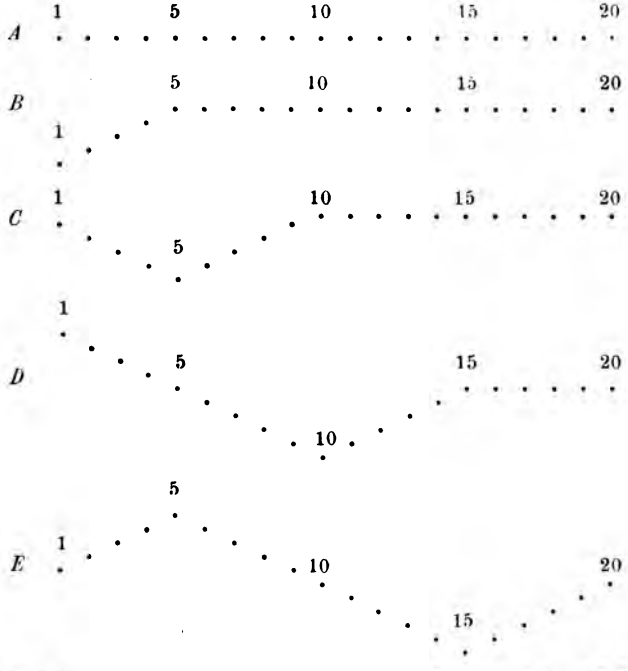
entfernt ist, daß der Schall zum Hingelangen bis zur Wand und Zurückgelangen bis zum Ausgangspunkt so viel Zeit braucht als zum Ausrufen von 1, 2 oder mehr Silben erforderlich ist, wird ein einsilbiges, zwei- oder mehrsilbiges Echo zu hören sein. Da das Aussprechen einer Silbe etwa $^1/_7$ Sekunde dauert und der Schall den Weg zur Wand und zurück zum Ohr des Rufenden zurückzulegen hat, wird ein Echo zu vernehmen sein, sobald die den Ton zurückwerfende Wand wenigstens den vierzehnten Teil von 333 Metern von dem Rufenden entfernt ist, also ca. 24 Meter. Ist sie mehr als doppelt soweit entfernt, so wird man ein zweisilbiges Echo hören können u. s. w.

Wie die Schallwellen in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen durch Schwingungen der Molekeln innerhalb enger Grenzen, so pflanzen sich die Licht- und Wärmewellen durch Schwingungen der Ätherteilchen fort. Auch hier geschieht die Fortpflanzung in der Weise, daß jedes schwingende Ätherteilchen seine Nachbaren zu gleichen Schwingungen veranlaßt, und daß diese Nachbarteilchen ihre Schwingungen eine wenn auch noch so kurze Zeit später beginnen, als das vorhergehende Teilchen. Aber in einer Beziehung unterscheiden sich die den Schall fortpflanzenden Schwingungen von denen, die das Licht und die Wärme durch den Weltenraum verbreiten. Bei jenen nämlich ist die Schwingungsrichtung der einzelnen Molekeln dieselbe wie die der Schallstrahlen, bei diesen jedoch schwingen die Ätherteilchen senkrecht gegen die Richtung der Licht- oder Wärmestrahlen. Wir können diese Art des Fortschreitens einer Wellenbewegung vergleichen mit den Bewegungen, welche man an einem langen, an einem Ende befestigten gespannten Seile hervorrufen kann, wenn man das andere Ende schnell hin und her bewegt. Das Seil nimmt die Form einer Schlangenlinie an, während jedes Teilchen desselben nur einen kleinen Weg, der senkrecht zur Richtung des Seils ist, zurücklegt.

Denken wir uns eine Reihe von Ätherteilchen (Fig. 23) 1 bis 20 in horizontaler Linie und ein jedes von oben nach

unten und wieder zurück schwingend (der Einfachheit wegen ist diese Schwingung selbst als gradlinig abgefaßt) und zwar so, daß das Teilchen 5 seine Schwingung beginnt, wenn das Teilchen 1 eben seine tiefste Lage (Fig. 23 B) erreicht, das heißt den vierten Teil einer vollen (Hin- und Zurück-) Schwingung vollendet hat, ebenso das Teilchen 10 eine Viertelschwingung nach dem fünften sich

Fig. 23.

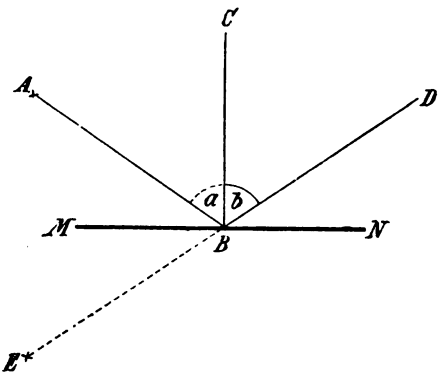


zu bewegen anfängt. Alsdann veranschaulicht uns Fig. 23 C die gegenseitige Lage der Teilchen nach einer halben, Fig. 23 D nach $^3/_4$, Fig. 23 E nach einer vollen Schwingung des Teilchens 1.

In Bezug auf die Reflexion der Wärme und Lichtstrahlen gilt wie für die Schallstrahlen als Grundsatz, daß der Winkel, den der auf irgend eine Fläche einfallende Strahl mit der Fläche

bildet, gleich sein muß dem Winkel, den der reflektierende Strahl mit derselben bildet. Aus Zweckmäßigkeitsgründen geht man von dem Winkel aus, den der einfallende Strahl mit der auf diesen Punkt gerichteten Senkrechten bildet, z. B. bei der Fläche M N sei A B ein auf die Fläche auffallender Strahl, C B sei die Senkrechte, dann ist die Neigung von A B zu BC, der Winkel a der sogen. Einfallswinkel. Der Strahl A B wird so von der Fläche M N im Puukt B reflektiert, daß er in der Richtung B D weiter geht, wenn die Neigung von B D zu B C d. h. der Winkel b, der „Reflexionswinkel" genau gleich ist dem Winkel a. Nehmen wir nun an, M N sei eine spiegelnde Fläche und unser Auge befinde sich im Punkte D, alsdann sehen wir den Punkt A im Spiegel bei E. Wir sind nämlich gewohnt, das Licht stets in gerader Linie zu sehen, außerdem die Entfernung desselben instinktmäßig zu schätzen, dasselbe thun wir nun auch bei solchem Licht, welches durch irgend eine Ursache vom geraden Wege abgelenkt worden ist. In unserem Beispiel nun ist die Entfernung des Punktes A von unserem Auge gleich der Länge der Summe der beiden Linien A B und B D, wir versetzen daher in uns unbewußter geistiger Schlußfolgerung das Licht in der Richtung B D so weit fort, als der erwähnten Länge entspricht, d. h. nach E, wenn BE ebenso lang ist wie A B. Es erscheint uns also das Bild des Lichts hinter dem Spiegel und zwar, wie leicht eingesehen werden kann, ebenso weit hinter dem Spiegel wie es sich vor demselben befindet.

Fig. 24.



Wir haben nur nötig, in unserer Figur A mit E durch eine Linie zu verbinden, dann sehen wir, daß AM, d. h. die Entfernung des Lichts vom Spiegel, gleich ist ME, d. h. der Entfernung des Bildes von der spiegelnden Fläche. Man nennt ein derartiges Bild eines Gegenstandes, das in Wirklichkeit nicht existiert (denn in dem Punkt E existirt thatsächlich keine Spur eines Bildes des Lichts), sondern das wir durch eine unbewußte geistige Thätigkeit an dem betreffenden Ort zu sehen vermeinen, ein scheinbares oder virtuelles Bild. Wir können nämlich auch durch Reflexion der Lichtstrahlen objektive, wirkliche Bilder erzeugen. Denn machen wir uns klar, wie wir überhaupt sehen. Ohne auf die Auseinandersetzung der inneren Einrichtung unseres Auges einzugehen sei hier nur bemerkt, daß ein leuchtender oder beleuchteter Körper deshalb zu unserer Wahrnehmung gelangt, weil von den Lichtstrahlen, welche jeder einzelne Punkt des Körpers nach allen Richtungen hin aussendet, ein Teil in das Auge gelangt und auf der inneren Rückseite des Augapfels, auf der Netzhaut oder Retina, wieder in einem Punkt sich vereinigt. Dadurch werden die letzten Ausläufer des Sehnerven, welche auf der Netzhaut ausgebreitet sind, erregt und durch eine uns gar nicht mehr zum Bewußtsein kommende geistige Thätigkeit, die uns an dieser Stelle nicht interessiert, verfolgen wir die Lichtstrahlen wieder zurück bis zu jenem Punkt, von welchem sie ausgegangen sind, d. h. bis zu dem leuchtenden oder beleuchteten Körper. Wenn also von irgend einem Punkte Lichtstrahlen ausgehen und zum Teil unser Auge treffen, dann sehen wir den betreffenden Punkt. Wenn ferner von einem leuchtenden Punkt Lichtstrahlen in der Weise ausgehen, daß sie durch irgend welches Hilfsmittel zum großen Teil sich wieder in einem Punkt vereinigen, von diesem divergirend weitergehen und dann erst unser Auge treffen, so werden wir selbstverständlich den leuchtenden Punkt durch unsere geistige Thätigkeit nicht an den Ort hin versetzen, wo er thatsächlich sich befindet, sondern dorthin, wo die letzte Vereinigung der unser Auge treffenden Strahlen ist. So

z. B. vermögen Hohlspiegel, welche man als Stücke von innen spiegelnden Hohlkugeln betrachten kann, nach dem Grundsatze, daß der Reflexionswinkel stets gleich ist dem Einfallswinkel, die Lichtstrahlen, welche von irgend einem leuchtenden oder beleuchteten und außerhalb der Brennweite befindlichen Körper kommen und den Spiegel treffen, wieder in einem Punkt zu vereinigen. In beistehender Fig. 25 sei S P ein Hohlspiegel und L ein leuchtender Punkt. Von den unendlich vielen Lichtstrahlen die L nach allen Richtungen hinsendet, trifft ein erheblicher Teil den Hohl-

Fig. 25.

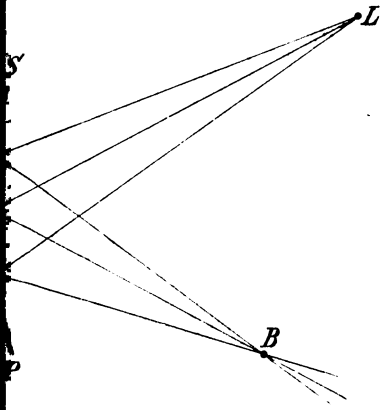
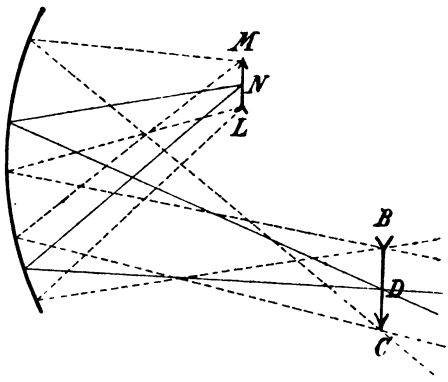


Fig. 26.



spiegel und wird von ihm so reflektiert, daß die reflektierten Strahlen sämtlich durch den Punkt B gehen. Ein jenseits B befindliches Auge, in welches die Strahlen gelangen, wird in B den leuchtenden Punkt sehen. Nehmen wir statt des leuchtenden Punkts eine ununterbrochene Reihe leuchtender Punkte, d. h. einen leuchtenden Körper L M (Fig. 26) so vereinigen sich alle von L ausgehenden und den Spiegel treffenden Strahlen in B, alle von M ausgehenden in C, und alle von N ausgehenden in D, die von den zwischen L und M liegenden Punkten ausgesandten Strahlen treffen in dem zwischen B und C liegenden

Teil zusammen u. s. w., kurz, wir erhalten in BDC eine ununterbrochene Reihe von Punkten, von denen ein jeder eine große Zahl von Strahlen aussendet. Auf einem in BC aufgestellten dunklen Schirm entsteht in deutlichsten Umrissen das umgekehrte Bild des Pfeiles LM. Vergleichen wir das vor dem Hohlspiegel erscheinende Bild BC mit dem auf S. 71 besprochenen Bild *hinter* dem ebenen Spiegel erscheinenden Bild E so ist der Unterschied zwischen beiden sofort einleuchtend. In BC haben wir thatsächlich Lichtstrahlen, die von jedem Punkt ausgehen, während in E (S. 71) vom Vorhandensein von Lichtstrahlen gar nicht die Rede sein kann. In unserem Falle entsteht ein *wirkliches* Bild, während das hinter dem ebenen Spiegel erscheinende aufrechte Bild nur *scheinbar* ist.

Wie bei den Schallwellen ist auch bei den Licht- und Wärmewellen wohl zu unterscheiden die Geschwindigkeit der Schwingungen der einzelnen Ätherteilchen und diejenigen der Fortpflanzung der Wellenbewegung. Die letztere hängt ebenso wie beim Schall von der Natur des Stoffes ab, in welchem die Fortpflanzung vor sich geht. Dieselbe schreitet, wie allgemein bekannt ist, im Weltenraum in jeder Sekunde nahezu 42000 geographische Meilen fort, ist aber kleiner, dort wo die Ätherteilchen durch das gleichzeitige Vorhandensein materieller Molekeln beeinflußt sind, also in der Luft, in flüssigen und festen Körpern. Wenn Lichtstrahlen durch irgend einen durchsichtigen Körper hindurchgehen, so bewegen sie sich in dem betreffenden Körper um so langsamer fort, je dichter derselbe ist, durch Wasser z. B. langsamer wie durch Luft, durch Glas langsamer wie durch Wasser ꝛc. Freilich ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtstrahlen auch in den dichtesten Stoffen so außerordentlich groß, daß nur durch äußerst sinnreich konstruierte Apparate dieser Unterschied in der Geschwindigkeit beim Durchgang von Licht durch Luft und durch Wasser experimentell hat nachgewiesen werden können. Aber eine andere Erscheinung beruht auf dieser Verschiedenheit in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in

verschiedenen Stoffen, nämlich die Brechbarkeit der Lichtstrahlen beim Übergang aus einem Stoff in einen anderen. Ein Jeder kennt die eigentümliche Erscheinung, welche eintritt, wenn man einen Stab schräg in Wasser taucht. Der Stab scheint an der Stelle, wo er eben in das Wasser taucht, geknickt, wie auf beistehender Fig. 27 zu sehen ist. Der Stab A B C erscheint in der Form von A B D. Diese Erscheinung ist leicht zu erklären.

Sobald nämlich Lichtstrahlen aus der Luft in Wasser oder umgekehrt aus Wasser in die Luft gelangen, werden sie gebro-

Fig. 27.

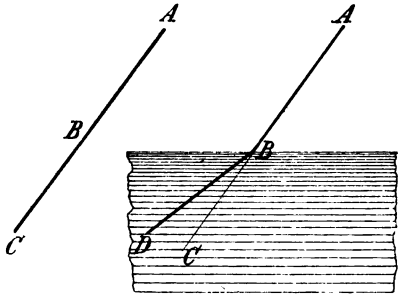
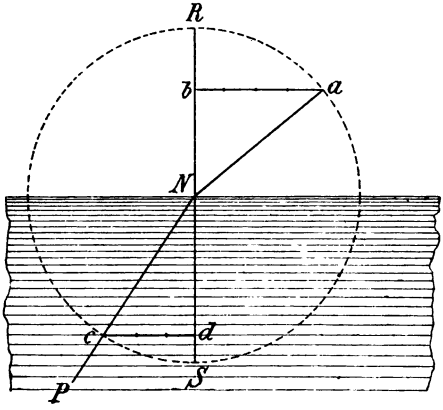


Fig. 28.



chen. In der Fig. 28 sei die schraffierte Fläche Wasser, die Linie aN ein Lichtstrahl. Sobald dieser in das Wasser gelangt, geht er nicht in der ursprünglichen Richtung weiter, sondern in der Richtung NP. Es giebt ein sehr einfaches Gesetz für die Richtung des gebrochenen Strahls. Wenn nämlich in dem Punkte N eine senkrechte Linie RS, andererseits um N als Mittelpunkt ein Kreis gezogen wird, so ist die an dem Schnittpunkt von aN mit dem Kreis auf RS errichtete senkrechte Linie a b ungefähr $4\frac{1}{3}$ so groß wie die von PN an dem Schnittpunkte auf RS errichtete Senkrechte cd. Welches auch der Winkel sein mag,

den aN mit der Linie RS bilden mag, die Richtung des gebrochenen Strahls ist stets durch diese Konstruktion leicht zu finden. Selbstverständlich würde ein Strahl, der in Wasser die Richtung NP hätte, beim Austritt in Luft so gebrochen werden, daß er die Richtung MN annehmen würde. Da wir aber die Strahlen stets in der Richtung verfolgen, wie sie schließlich in unser Auge gelangen, so werden wir den Strahl NP in der Richtung MQ Fig. 29 sehen. Kehren wir jetzt zu unserem Beispiele, dem halb in Wasser schräg eintauchenden Stab zurück, so ist es leicht begreiflich, daß wir die über dem Wasser befindliche Hälfte in ihrer wahren Richtung AB Fig. 30, die unter Wasser tau-

Fig. 29.

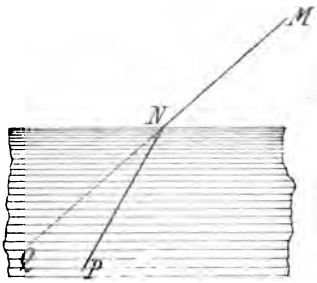


Fig. 30.

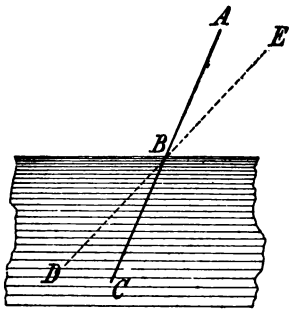
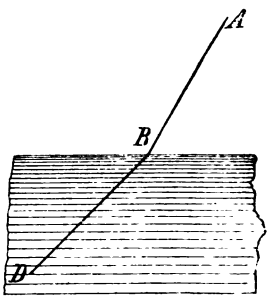


Fig. 31.



chende Hälfte BC, deren Strahlen nach der Richtung BE hin gebrochen werden, in der Verlängerung dieser Richtung, BD, sehen werden. Der Stab AC wird demnach in B geknickt erscheinen, wir sehen die obere Hälfte in der Richtung AB, die untere Hälfte in der Richtung BD (Fig. 31).

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtstrahlen wird um so mehr verlangsamt, je dichter der Stoff ist, den sie durcheilen, das heißt, die Brechung der Strahlen ist um so größer, je verschiedener die Dichtigkeit ist zwischen den beiden durchsichtigen Stoffen. So steht, wie wir gesehen haben, die Brechbarkeit der Strahlen beim Übergang von Luft in Wasser in dem Ver-

hältnis wie 4:3; Strahlen, welche aus Luft in Glas gelangen, werden so gebrochen, daß das Verhältnis der oben besprochenen beiden Linien (ab und cd in Fig. 28) etwa wie 3:2 ist.

Immer aber werden die Lichtstrahlen, sobald sie aus einem dünneren Stoff in einen dichteren gelangen, so gebrochen, daß sie mit der auf die Grenzfläche errichteten Senkrechten einen kleineren Winkel bilden, und umgekehrt werden sie, wenn sie aus einem dichteren in einen dünneren Stoff gelangen, so gebrochen, daß sie nach der Brechung mit dieser Senkrechten einen größeren Winkel bilden, und der Unterschied ist um so größer,

Fig. 32.

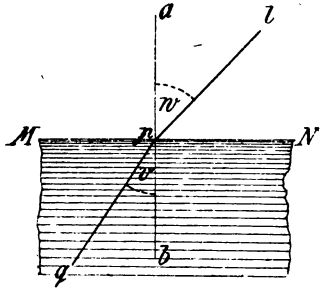
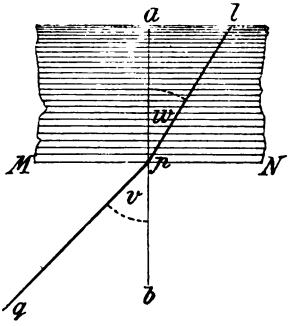


Fig. 33.



je stärker die Brechung der Strahlen ist. In den beiden Figuren 32 und 33 seien die schraffierten Teile Glas, die weißen Teile Luft, die Linie ab die Senkrechte auf die Grenzfläche MN, so ist der Winkel w in Fig. 32, welchen der Lichtstrahl lp mit der Senkrechten bildet, größer als der Winkel v, welchen der Strahl pq mit derselben Senkrechten bildet, in Fig. 33 ist der Winkel w kleiner als der Winkel v. Folglich kann leicht der Fall eintreten, daß, wie in Fig. 34 der Winkel w, welchen der Lichtstrahl mit der Senkrechten an der Grenzfläche des dichteren Stoffes bildet, so groß ist, daß der Winkel v des gebrochenen Strahls 90° beträgt, d. h. parallel mit der Grenzfläche in den dünneren

Stoff austritt, oder gar noch größer als 90° ist. Das ist aber unmöglich, d. h. mit anderen Worten,

„solche Lichtstrahlen, welche aus einem dichteren Stoff „in einen dünneren übergehen, vermögen dieses nur „wenn ihre Neigung zur Senkrechten der Grenzfläche „klein genug ist, daß diese Neigung nach der Brechung „kleiner als 90° ist, anderenfalls können sie überhaupt „nicht in den dünneren Stoff hineingelangen und werden „an der Grenzfläche total reflektiert."

Der Winkel, unter welchem diese Unmöglichkeit des Überganges der Strahlen in den dünneren Stoff eben eintritt, der also so groß ist, daß der Winkel des gebrochenen Strahls eben 90° betragen würde, heißt der Grenzwinkel, und ist um so kleiner, je größer der Unterschied in der Dichtigkeit der beiden Stoffe ist. So ist z. B. der Grenzwinkel beim Übergang der Strahlen aus Wasser in Luft bei 48° 35′, aus Krystallglas in Luft bei 37° 36′, aus Diamant, dem stärkst brechenden Körper, in Luft schon bei 23° 53′ erreicht. Die totale Reflektion können wir leicht an den Glasprismen, welche zu Behängen für Candelaber 2c. benutzt werden, leicht beobachten, wenn wir dieselben mit der Breitseite nach unten halten und einen hellen Gegenstand, etwa ein Fenster, sich auf der unteren Fläche spiegeln lassen. Die Unterfläche erscheint dann als prachtvollster Spiegel, weil alle Strahlen, welche durch die Seite AB (Fig. 35) in das Prisma eindringen, an die untere Fläche AC unter einem den Grenzwinkel überschreitenden Winkel gelangen, daher nicht nach unten hin in die Luft gelangen können und vollständig nach der Seite BC reflectiert werden, von wo sie unser Auge O erreichen. Das schöne Farbenspiel, welches der Diamant zeigt, rührt beiläufig bemerkt, von seinem großen Lichtbrechungsvermögen her.

Eine Thatsache von äußerster Wichtigkeit sei hierbei kurz auseinandergesetzt. Wir nehmen nämlich mit unseren Augen nicht etwa Lichtstrahlen von einer einzigen Schwingungsgeschwindigkeit wahr, sondern wie beim Schall, wenn auch nicht in so

ausgedehntem Maße, Strahlen verschiedener Schwingungsgeschwindigkeit oder mit anderen Worten, verschiedener Wellenlänge. Nur selten nehmen wir Lichtstrahlen einer einzigen Schwingungsgeschwindigkeit wahr, die Strahlen, welche die Sonne oder künstliches Licht uns sendet, sind ein Gemisch von Strahlen verschiedenartigster Wellenlänge. Einfaches Licht, d. h. solches, welches lediglich Strahlen einer ganz bestimmten Wellenlänge aussendet, besitzt auch eine bestimmte Farbe, während das höchst zusammengesetzte Licht, d. h. dasjenige, welches Strahlen von all denjenigen Wellenlängen, die wir überhaupt wahrzunehmen vermögen, enthält, weißes Licht ist. Unsere Sonne sendet z. B. weißes Licht aus.

Fig. 34.

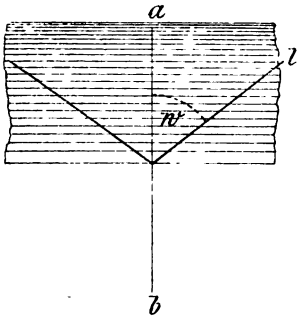
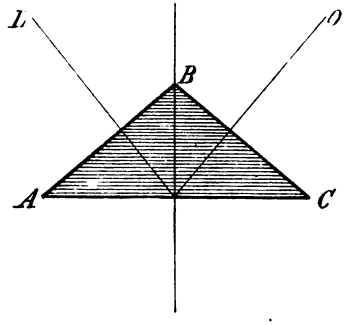


Fig. 35.

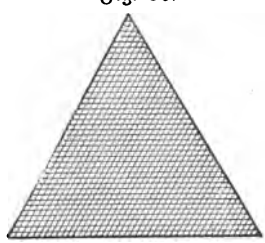


Die Länge der Ätherwellen, d. h. die Entfernung je zweier in gleichen Schwingungszuständen befindlicher Ätherteilchen, ist außerordentlich klein. Nach Methoden, deren Auseinandersetzung uns zu weit führen würde, hat man gefunden, daß Ätherschwingungen, deren Wellenlänge ein Tausendstel Millimeter lang ist, von uns noch nicht gesehen werden können, weil sie zu langsam erfolgen. Wir empfinden Ätherschwingungen als Lichtstrahlen, wenn ihre Wellenlänge etwa 760 Millionstel Millimeter beträgt. Aber sobald die Wellenlänge kleiner als 390 Millionstel Millimeter wird, dann sind die Schwingungen wieder zu schnell, um noch auf unser Auge Eindruck zu machen.

Wer ein Freund großer Zahlen ist, kann leicht berechnen, wie viele Schwingungen ein jedes Ätherteilchen in der Sekunde machen muß, um auf unser Auge die Erscheinung von Licht hervorbringen zu können. Wir haben früher erfahren, daß eine Schwingung genau so viel Zeit erfordert, als das Fortschreiten der Bewegung um eine Wellenlänge. Nun pflanzt sich das Licht im Weltenraume in einer Sekunde 42000 Meilen oder 315000 Kilometer, das sind 315 Millionen Meter oder 315000 Millionen Millimeter fort. Da aber jede Lichtwellenlänge höchstens 760 Millionstel Millimeter beträgt, so beträgt die Zeit, welche zum Fortschreiten dieser geringen Entfernung erforderlich ist, 315000 Millionen dividiert durch 760 Millionstel, d. i. der 415 Teil einer Billiontel Sekunde. Ein jedes Äterteilchen muß demnach in jeder Sekunde 415 Billionen Schwingungen machen. Es darf aber höchstens 800 Billionen Schwingungen per Sekunde ausführen (315000 Millionen dividirt durch 390 Millionstel), wenn letztere für unser Auge noch wahrnehmbar sein sollen.

Dasjenige Licht, welches durch die langsamsten Ätherschwingungen fortgepflanzt wird, ist das rote Licht, schnellere Schwingungen erzeugen das gelbe, noch schnellere das blaue Licht. Die schnellsten auf unseren Sehnerv einwirkenden Schwingungen bringen ein blaurötliches, violettes Licht hervor. Daß im weißen Sonnenlicht Strahlen von allen möglichen Wellenlängen (selbstverständlich können wir hier nur diejenigen Strahlen im Sinne haben, deren Wellenlängen innerhalb der oben bezeichneten Grenzen sich befinden), daß also im Sonnenlicht Strahlen sämmtlicher Wellenlängen vorhanden sind, können wir sehr leicht dadurch sichtbar machen, daß wir einen von der Sonne stark erleuchteten Spalt durch ein sogenanntes Prisma, d. i. ein Stück Glas, bei welchem zwei Seiten gegen einander geneigt geschliffen sind, betrachten. Wir

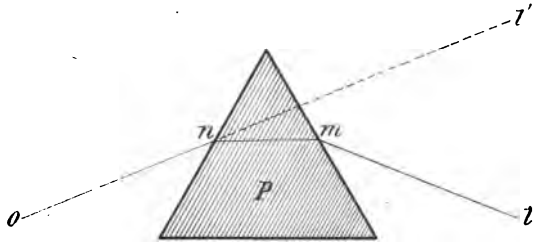
Fig. 36.



sehen alsdann statt des Spaltes ein breites Band in den schönsten Regenbogenfarben.

Denken wir uns (Fig. 37) einen Lichtstrahl in der Richtung l m auf das Prisma P gelangend, dann wird der Strahl beim Eintreten in das Glas gebrochen und bewegt sich in der Richtung m n durch das Glas hindurch. Sobald aber der Strahl bei n angelangt ist und wieder in die Luft hinaustritt, wird er wieder gebrochen und geht in der Richtung n o weiter. Ein in o befindliches Auge wird demzufolge den Strahl l nicht an seinem wahren Ort, sondern in der Richtung o n, in l' sehen. Der leuchtende Punkt l erscheint abgelenkt. Die Größe der Ablenkung hängt natürlich bei sonst gleichen Bedingungen von

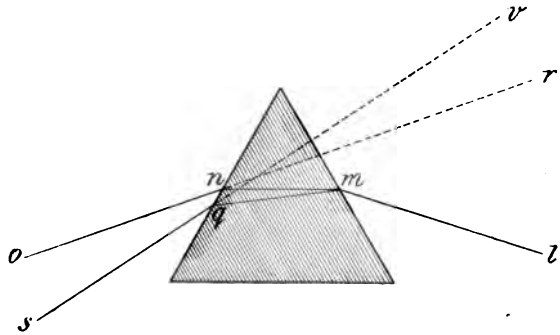
Fig. 37.



der Stärke der Brechbarkeit der Strahlen ab, sie ist um so größer je stärker die Strahlen gebrochen werden und umgekehrt. Nun sind aber nicht alle Lichtstrahlen gleich stark brechbar, sondern die roten Lichtstrahlen sind am wenigsten, die violetten am stärksten brechbar. Wenn wir in Figur 38 einen roten Lichtstrahl l m durch ein Prisma hindurchgehen lassen, so wird er in dem Prisma in Folge der Brechung von m nach n gehen und aus dem Prisma in der Richtung n o heraustreten. Unser Auge würde ihn abgelenkt in der Richtung o n in r sehen. Wenn dagegen derselbe Strahl l m von einem violetten Licht stammt, so wird er beim Eintritt m das Prisma stärker von m nach q gebrochen werden, ebenso beim Austritt aus dem

Prisma von q nach s, stärker wie der rote Strahl abermals gebrochen werden und unser Auge wird den leuchtenden Punkt in der Richtung s q verfolgend in v zu sehen vermeinen, also stärker abgelenkt als den vorhergehenden Strahl. Wenn wir jetzt endlich beide Lichtpunkte mit einander vereinigen und die beiden Strahlen l m (den roten und den violetten) weiter verfolgen, so wird der rote so gebrochen werden, daß wir die Lichtquelle in r, der violette so, daß wir die Lichtquelle in v sehen, das heißt also, wir sehen die beiden in dem Punkt l vereinigten Lichtquellen, sobald wir ihre Strahlen durch ein Prisma hin-

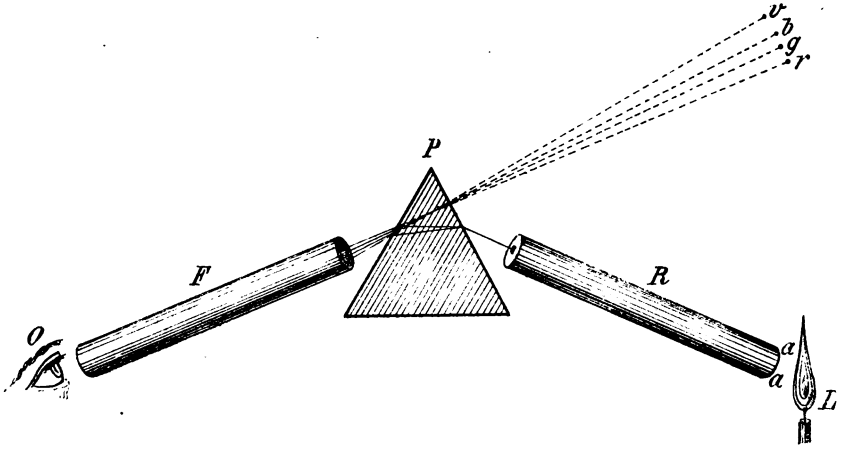
Fig. 34.



durchgehen lassen, nicht nur abgelenkt, sondern an zwei verschiedenen Orten neben einander. Würde der Lichtpunkt l gelbe Stralen aussenden, so würden wir die in der Richtung l m sich fortbewegenden, wenn unser Auge etwa bei o sich befindet, so sehen, daß wir die gelbe Lichtquelle zwischen r und v, aber näher nach r hin versetzen würden. Einen blauen Lichtpunkt l würden wir unter gleichen Bedingungen ebenfalls zwischen r und v, aber näher nach v hin erblicken. Enthielte nun die Lichtquelle l alle Strahlen, deren Brechbarkeit zwischen der des roten und der des violetten Lichts sich befindet, so müßten wir statt eines Punktes eine Linie sehen von r bis v, deren eines Ende, welches der Lichtquelle zugekehrt ist, rot, deren an-

deres Ende violett erscheint, während zwischen beiden alle Übergänge zwischen rot und gelb, d. h. orange, dann gelb, dann zwischen gelb und blau, d. h. grün, dann blau, dann violett sehen. Man hat diese Farbenstreifen Spektrum genannt und in ihnen ganz willkürlich und ohne jegliche Berechtigung sieben Farben unterschieden: rot, orange, gelb, grün, blau, indigoblau, violett. Aber genau genommen, sind in einer solchen Farbenlinie gerade so viele Farben vertreten, als Punkte in ihr ent-

Fig. 39.



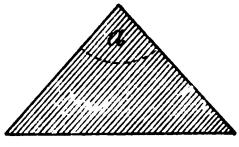
halten sind, d. h. unendlich viele, nur ist unser Auge nicht imstande, sie alle von einander zu unterscheiden.

Am bequemsten erzeugt man ein Spektrum in der Weise, daß man in ein verdunkeltes Zimmer durch einen im Fensterladen befindlichen schmalen Spalt weißes Licht eintreten läßt, oder wenn man ein derartiges Zimmer nicht zur Verfügung hat, daß man Sonnenlicht oder anderes weißes Licht in ein innen geschwärztes und mit einem schmalen Spalt an dem einen Ende versehenes Rohr treten läßt. An das andere offene Ende des Rohrs bringt man in geeigneter Lage ein Prisma, so daß

der in den Spalt gelangende schmale Lichtstreifen durch das Prisma hindurchgeht, dort gebrochen und in seine Farben zerlegt wird und wieder gebrochen austritt. Man beobachtet die aus dem Prisma austretenden Strahlen durch ein kleines Fernrohr, um sie deutlicher sehen zu können. Der ganze Apparat besitzt die in der Figur 39 schematisch gegebene Anordnung. L ist die Lichtquelle, R das Rohr, welches an dem der Lichtquelle zugekehrten Ende a den schmalen Spalt besitzt, P das Prisma, F das Fernrohr und O das Auge des Beobachters. Man sieht, wenn die Lichtquelle aus völlig einfarbigem roten Licht besteht (wir werden später erfahren, wie man derartiges einfarbiges Licht herstellt), das Bild des Spaltes in r, wenn sie aus gelbem Licht besteht, in g, ist sie blau, in b, und endlich, wenn sie violett ist, in v. In r sieht man eine helle rote Linie, in g eine gelbe ꝛc. Wenn aber die Lichtquelle weißes Licht ausstrahlt, also Licht von allen Farben, dann sieht man nicht mehr eine oder mehrere helle Linien, sondern einen farbigen Streifen, das ist nichts anderes als eine unendlich große Zahl neben einander liegender und in einander greifender heller Linien. Dieser Streifen ist erst ganz dunkelrot (auf der Seite, die der Lichtquelle am nächsten ist), dann immer heller rot, dann orange, dann gelb, grün, blau, indigo und schließlich violett, das immer dunkler und dunkler wird, bis es allmählich verschwindet.

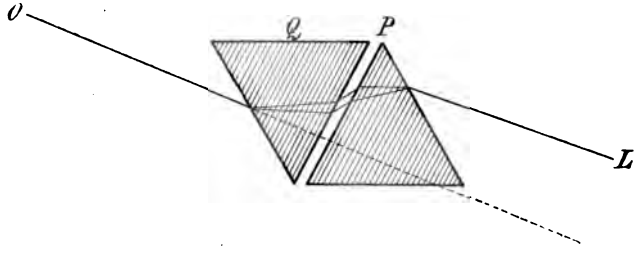
Die Länge des Spektrums, die Entfernung des äußersten Rot vom äußersten Violett, ebenso die Ablenkung der Lichtstrahlen überhaupt, hängt ab von der Größe des Winkels a des Prismas (Fig. 40), außerdem aber von der brechenden Kraft der Substanz, aus welcher das Prisma besteht. Das Spektrum entsteht, wie wir gesehen haben, doch nur dadurch, daß die verschiedenen Lichtstrahlen verschieden stark gebrochen werden, und man bezeichnet den Unterschied in der Brechbarkeit der roten und der violetten Strahlen als

Fig. 40.



die Dispersion oder Farbenzerstreuung des Lichts. Wir haben demnach zu unterscheiden zwischen der Ablenkung des Lichts und der Dispersion desselben, also zwischen dem allgemeinen Brechungsvermögen der Substanz und der Differenz in der Brechbarkeit der roten und violetten Strahlen. Wenn nun auch im allgemeinen die Dispersion größer ist, sobald das Brechungsvermögen der Substanz überhaupt größer ist, so finden wir doch bei verschiedenen Substanzen von nahezu gleichem Brechungsvermögen ein sehr verschiedenes Farbenzerstreuungsvermögen. Am wichtigsten ist diese Verschiedenheit bei verschiedenen Glassorten, weil es dadurch möglich geworden ist, sehr scharfe optische Apparate zu konstruieren. Bei den ver-

Fig. 41.

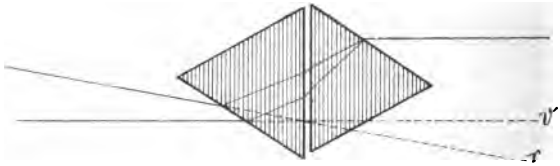


schiedenen Glassorten ist das mittlere Brechungsvermögen nahezu wie 3:2, oder 1.6:1. Aber das sog. Kryſtallglas, welches sich von dem gewöhnlichen Glas dadurch unterscheidet, daß es Bleiverbindungen enthält, statt wie letzteres, Kalkverbindungen, besitzt bei fast gleichem Brechungsvermögen ein fast doppelt so großes Zerstreuungsvermögen. Man unterscheidet die zu optischen Zwecken benutzten „Bleigläser“ (Flintglas) von den „Kalkgläsern“ (Crownglas).

Es ist oben gesagt worden, daß wir die verschiedenen Farben des Spektrums nur dann als solche sehen können, wenn sie neben einander sich befinden, nicht aber wenn sie alle an einem Punkte sind, sie erscheinen alsdann als weißes Licht. Wir können das

leicht dadurch beweisen, daß wir zwei gleich stark brechende Prismen von demselben Glas hinter einander aufstellen, so daß das eine nach entgegengesetzter Richtung die Ablenkung und die Farbenzerstreuung bewirkt wie das andere, wie in Figur 41. Die weißen Lichtstrahlen L gelangen zuerst in das Prisma P, werden gebrochen und in die einzelnen Farben zerlegt, wandern von da abermals gebrochen in die Luft, um nun in das zweite Prisma A zu treten und in entgegengesetzter Richtung gebrochen zu werden. Da die violetten Strahlen stärker brechbar sind als die roten, werden diese beiden Lichtarten im zweiten Prisma sich nähern und beim Austritt aus demselben in Luft vollständig zusammenfallen. Ein in O befindliches Auge sieht alsdann das Licht L ein wenig von seinem wahren Ort verrückt weiß. Wenn

Fig. 42.

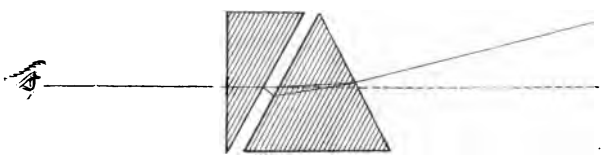


wir aber zwei gleich große Prismen nehmen (wie in Figur 42 angedeutet ist), von denen das eine aus Crownglas, das andere aus Flintglas besteht, bei denen also gleiche Strahlenablenkung, aber sehr verschiedene Farbenzerstreuung statthat, so wird zwar die Ablenkung aufgehoben werden, d. h. wir werden das weiße Licht L zwar nahezu an demselben Punkt sehen, wo es thatsächlich sich befindet; die durch das Flintglas P bewirkte Farbenzerstreuung wird jedoch nicht aufgehoben, sondern durch das Crownglas Q nur um die Hälfte vermindert sein, wir werden also den Lichtpunkt L nahezu an seinem wahren Ort, aber in die einzelnen Farben zerlegt, sehen. Das Spektrum wird halb so lang sein, als das durch das Flintglas allein erzeugte, und ebenso groß, wie das durch das Crownglas allein erzeugte. Man hat nach diesem Prinzip Apparate zur Erzeugung von

Spektren, Spektroskope „à vision directe“ konstruiert, welche sich durch ihre bequeme Handhabung auszeichnen.

Wenn wir andererseits zwei Prismen, ein Flintglas- und ein Crownglasprisma, in derselben Weise mit einander kombinieren, jedoch ein Flintglasprisma wählen, welches nur halb so stark ablenkt als das Crownglasprisma, so daß bei beiden die Farbenzerstreuung gleich groß ist, so werden die verschiedenen Farben beim Austritt aus dem Crownglasprisma sich decken, das Licht L wird weiß erscheinen; aber da das Crownglasprisma doppelt so stark das Licht ablenkt, wie das Flintglasprisma, werden wir, ohne ein Farbenspektrum zu erhalten, eine Ablenkung der Strahlen beobachten, die gerade so groß ist, als wenn wir das Flintglas allein oder ein halb so großes Crown-

Fig. 43.

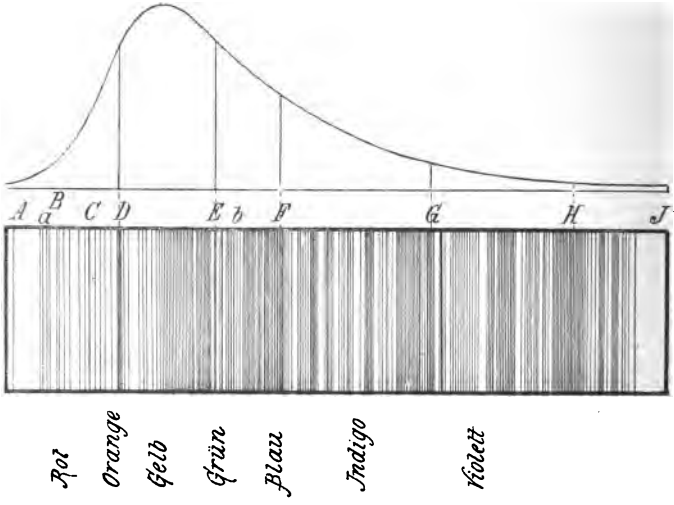


glasprisma für sich verwendet hätten. Man bezeichnet eine solche Kombination zweier Prismen als achromatische Prismen. Ein derartiges achromatisches Prismenpaar ist in Figur 43 schematisch dargestellt.

Beobachtet man das weiße Licht der Sonne im Spektroskop genauer, so nimmt man eine eigentümliche Erscheinung wahr. Das ganze farbige Band ist nämlich durchsetzt von einer Unzahl schwarzer Linien, wie in Figur 44 angedeutet ist. Lampenlicht oder elektrisches Licht zeigen diese Erscheinung nicht. Fraunhofer, welcher diese das Sonnenspektrum durchsetzenden Linien zuerst genauer untersucht hat, fand, daß sie zu aller Zeit genau an denselben Stellen des Spektrums auftreten. Er hat die am meisten hervortretenden Linien von Rot nach Violett hin mit Buchstaben A bis H bezeichnet. Man nennt jetzt diese Linien

allgemein Fraunhofer'sche Linien. Sie zeigen an, daß von der Sonne nicht Strahlen jeglicher Brechbarkeit von Rot bis Violett zu uns gelangen, sondern daß dem weißen Sonnenlicht eine Anzahl von Strahlen fehlen, so daß an den betreffenden Stellen des Spektrums kein Licht wahrzunehmen ist, also das Bild des Spalts am Spektroskop als dunkele Linie erscheint. Man weiß jetzt, warum diese Linien im Sonnenspektrum vorhanden sind, jedoch können wir das erst später auseinandersetzen.

Fig. 44.



Unsere Figur 44 zeigt das von Fraunhofer gezeichnete Sonnenspektrum. Die Helligkeit des Spektrums ist durch die über demselben gezeichnete Kurve angedeutet. Die größte Helligkeit ist zwischen D und E.

Die Sonne sendet uns außer Licht auch Wärme zu. Da wir nun das Licht in seine Farben zerlegen können, so werden wir uns fragen, sind alle Farben gleich warm, oder verändert sich ihre Wärme mit der Helligkeit? Man hat die einzelnen Teile des Spektrums auf die Wärmemenge, welche mit den

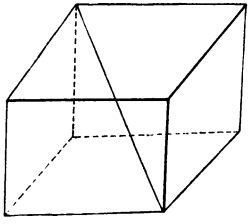
Lichtstrahlen von der betreffenden Brechbarkeit durch das Prisma hindurchgeht, mit empfindlichen Apparaten geprüft. Freilich konnte man zu diesem Zwecke nicht Glasprismen verwenden, weil das Glas gar zu viel Wärme absorbiert, einen zu großen Teil der hineingelangenden Wärmestrahlen nicht wieder austreten läßt. Aber man hat ein vorzügliches Material für dergleichen Untersuchungen im Steinsalz aufgefunden. Das Steinsalz läßt nämlich alle Wärmestrahlen ungehindert hindurchgehen. Da hat man denn die unerwartete Thatsache gefunden, daß der hellste Teil des Spektrums, Gelb, nicht auch der wärmste Teil desselben ist, sondern daß, während im violetten und blauen Teil kaum Spuren von Wärme nachweisbar sind, die Wärme nach dem roten Teil hin zunimmt, im äußersten Rot am größten ist, jedoch noch diesseits des Rot, wo also Lichtstrahlen überhaupt noch nicht vorhanden sind, eine große Strecke hin wahrnehmbar ist. Man hat also gefunden, daß die Wärmestrahlen im allgemeinen weniger stark brechbar sind als die Lichtstrahlen, daß sie hingegen ebenso wie die Lichtstrahlen aus einer ganzen Reihe verschieden stark brechbarer Strahlen bestehen, so daß man mit Recht von einem Wärmespektrum sprechen kann wie von einem Lichtspektrum, nur daß das Wärmespektrum weit diesseits des Rot beginnt, seine größte Intensität im Rot erreicht und dann allmählich abnehmend etwa bis zum Grün hin sich erstreckt. Es unterscheiden sich also die Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen lediglich durch ihre durchschnittlich etwas geringere Brechbarkeit, d. h. durch ihre etwas größere Wellenlänge, oder, da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärmestrahlen im Weltenraum ebenso groß ist wie die der Lichtstrahlen, durch die etwas geringere Schwingungsgeschwindigkeit der einzelnen Ätherteilchen.

Ferner kann man leicht nachweisen, daß auch Strahlen von noch größerer Brechbarkeit als die der äußersten violetten eben noch sichtbaren Strahlen von der Sonne zu uns gelangen. Wenn man nämlich eine photographisch präparierte Platte hinter ein Prisma bringt, so erhält man eine Photographie des Spektrums.

Was das Wesen der Photographie ist, werden wir später erfahren; hier genügt die Bemerkung, daß die Photographie nicht etwa das sichtbare Sonnenspectrum wiedergiebt, sondern daß der Streifen etwa bei gelb ganz schwach beginnt, dann immer deutlicher hervortritt, bis ungefähr bei Violett die größte Intensität vorhanden ist und von hier aus sehr langsam an Deutlichkeit abnimmt, um schließlich weit hinter dem Violett völlig zu verschwinden. Es müssen also noch jenseits des Violett Strahlen die photographische Platte getroffen haben. Wir erkennen hieraus, daß außer den sichtbaren Strahlen, d. h. solchen von der Wellenlänge 760 bis 390 Millionstel Millimeter, die Sonne uns noch Strahlen zusendet, deren Wellenlänge größer ist als 760 (Millionstel Millimeter), die wir als Wärme wahrnehmen, und außerdem noch Strahlen, deren Wellenlänge weit kleiner ist als 390 Millionstel Millimeter, die wir wiederum mit Hilfe der Photographie zur Anschauung bringen können. Es ist darum höchst wahrscheinlich, daß unsere Erde von der Sonne sowohl noch Strahlen erhält, deren Wellenlängen noch größer sind als die der äußersten Wärmestrahlen, und kleiner als die der auf photographischem Wege allenfalls noch erkennbaren Strahlen, nur sind wir bis heute nicht imstande dieselben auf irgend eine Weise erkennbar zu machen.

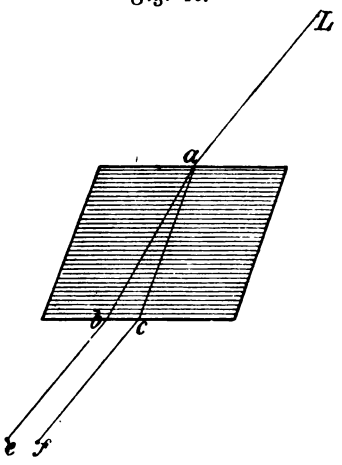
Einer höchst sonderbaren Erscheinung müssen wir noch Erwähnung thun. Unser Kalkstein, aus welchem man durch Brennen den zur Bereitung von Mörtel dienenden Kalk darstellt, kommt zuweilen, hauptsächlich auf Island, in klaren durchsichtigen Krystallen vor, die man als Kalkspath bezeichnet. Wenn man einen Krystall mit etwas Vorsicht zerschlägt, so erhält man würfelähnliche Rhomboëder (Fig. 45). Betrachtet man durch ein solches Stück irgend einen Gegenstand, z. B. ein helles Fenster, so sieht man dasselbe doppelt. Man hat des-

Fig. 45.



halb den Kalkſpath auch Doppelſpath genannt. Später hat man gefunden, daß außer dem Kalkſpath noch ſehr viele andere durchſichtige Körper, ja die meiſten der in der Natur vorkommenden ſog. kryſtalliſierten Körper, d. h. derjenigen, welche von ebenen Flächen begrenzt ſind, dieſelbe Erſcheinung, wenn auch nicht in ſo auffallendem Maße, zeigen. Glas dagegen, ebenſo Steinſalz, der Diamant u. a. zeigen eine derartige Erſcheinung nicht. Bei näherer Unterſuchung hat man gefunden, daß dieſelbe abhängig iſt von der Form, welche der betreffende Körper im natürlichen Zuſtande beſitzt. Man nennt die Erſcheinung ſelbſt die Doppelbrechung. Denken wir uns eine Anzahl paralleler Strahlen L in den Kalkſpath eintretend (Fig. 46), ſo werden dieſelben nicht nur gebrochen, ſondern zugleich in zwei Hälften, die ungleich ſtark gebrochen werden, zerſpalten. Der eine Teil a b iſt der minder ſtark, der andere a c der ſtärker gebrochene. Dieſe Strahlen treten dann aus dem Kalkſpath wieder in die Luft und werden nun abermals gebrochen, und zwar a c ſo viel ſtärker nach der entgegengeſetzten Seite, als ſeine Brechbarkeit größer iſt, ſo daß beim Austritt aus dem Kalkſpath die beiden Strahlen a b und a c parallel nach b e und c f gehen. Befindet ſich nun unſer Auge bei e f, ſo werden wir den Punkt L in der Richtung e b und f c, d. h. als zwei Punkte ſehen.

Fig. 46.



Flüſſigkeiten zeigen keine Doppelbrechung, nur feſte Körper. Die letzteren nämlich zeigen in den allermeiſten Fällen, ſobald ſie in ihrem Wachstum nicht geſtört worden ſind, regelmäßige

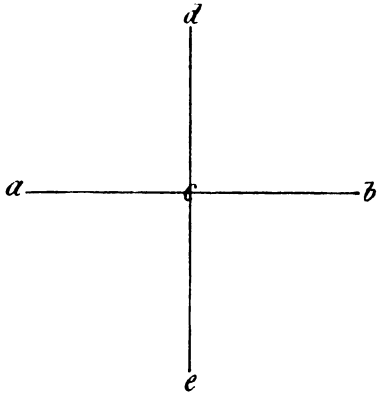
Formen und besitzen glänzende ebene Flächen. Am schönsten zeigen diese Eigenschaft die namentlich in den Alpen häufig vorkommenden Bergkrystalle, so daß man alle regelmäßig in ihrer Form ausgebildet vorkommenden Körper als „Krystalle" bezeichnet hat. Nur wenige Stoffe, zu denen auch das Glas gehört, werden nicht in Krystallen erhalten, solche Stoffe nennt man amorphe (gestaltlose) Körper. Man hat ferner gefunden, daß ein jeder Stoff eine ganz bestimmte Form zeigt, so daß also die Aneinanderlagerung der Massenteilchen nach ganz bestimmten in der Natur des Stoffes begründeten Gesetzen erfolgt. Nun ist aber die Dichtigkeit des Stoffes nach den verschiedenen Richtungen hin nicht bei allen krystallisierten Körpern gleich groß, nur bei einem, wenn auch erheblichen Teil der unendlich verschiedenen Stoffe lagern sich die Teilchen nach allen drei Richtungen des Raumes gleich dicht aneinander; solche Stoffe krystallisieren entweder in Würfeln oder in Formen, die vom Würfel abgeleitet werden können, man bezeichnet diese Stoffe als regulär krystallisierende. Bei den meisten anderen Stoffen findet dagegen die Aneinanderlagerung der Teilchen ungleich dicht nach den verschiedenen Richtungen hin statt.

Nun haben wir oben erfahren, daß Lichtstrahlen, sobald sie aus einem durchsichtigen Stoff in einen anderen gelangen, gebrochen werden, und zwar daß sie um so stärker gebrochen werden, je größer der Unterschied in der Dichtigkeit der beiden Stoffe ist. Wenn nun Lichtstrahlen aus Luft in einen krystallisierten Körper gelangen, dessen Dichtigkeit nach den verschiedenen Richtungen hin verschieden groß ist, so müssen die Strahlen nach der einen Richtung stärker gebrochen werden als nach der anderen, sie müssen demzufolge doppelt gebrochen werden. Je größer die Verschiedenheit in der Dichtigkeit eines Krystalls nach den verschiedenen Richtungen hin ist, desto stärker muß auch die Doppelbrechung bei dem Krystall sein, und im Kalkspath haben wir, so weit bis jetzt bekannt ist, denjenigen durchsichtigen Körper, der die Doppelbrechung am stärksten zeigt. Regulär krystalli-

sierte Körper, wie Steinsalz, ebenso amorphe Körper, wie Glas, bei denen die Dichtigkeit der Masse nach allen Richtungen gleich groß ist, wirken selbstverständlich nicht doppelbrechend.

Die Doppelbrechung des Lichts steht aber mit einer anderen Erscheinung im Zusammenhange, mit der sogenanten Polarisation des Lichts. Wir erinnern uns aus dem Vorhergehenden, daß man annimmt, die Fortpflanzung des Lichts geschehe in der Weise, daß die Ätherteilchen senkrecht gegen die Richtung der Fortpflanzung, d. h. gegen die Richtung des Strahls schwingen. Allein es sind unendlich viele Richtungen möglich, die senkrecht gegen eine stehen. So z. B. müssen alle horizontalen Linien (Richtungen) senkrecht sein gegen eine Lothlinie. Wenn nun ein Strahl lothrecht zur Erde gelangt, in welcher der unendlich vielen horizontalen Richtungen finden alsdann die Ätherschwingungen selbst statt? Die Antwort ist: Bei gewöhnlichem Licht in jeder beliebigen horizontalen Richtung. Sobald aber Strahlen in einen doppelt brechenden Körper hineingelangen, werden die Ätherteilchen gezwungen, nach ganz bestimmten Richtungen zu schwingen und zwar die des einen der beiden Strahlen in der Richtung der geringsten, die des anderen in der der größten Dichtigkeit des Krystalls. Denken wir uns z. B. einen Strahl senkrecht zur Ebene des Papiers dieser Seite auf das Papier gelangend und das Papier selbst als doppeltbrechenden Krystall, dessen größte Dichtigkeit in der Richtung a b, dessen geringste in der Richtung d e ist, (Figur 47) so würde der Strahl, der in c auf das Papier

Fig. 47.

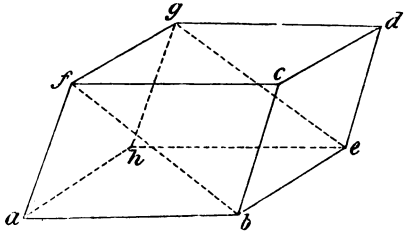


auftrifft, die Ätherteilchen veranlassen zum Teil in der Richtung a b, zum andern Teil in der Richtung d e zu schwingen. Da aber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit um so geringer ist, je größer die Dichtigkeit des durchsichtigen Stoffes ist, so werden die Schwingungen der Ätherteilchen, die in der Richtung a b schwingen, sich langsamer ihren Nachbarteilchen mitteilen, als die in der Richtung d e schwingen, das heißt aber nichts anderes als: die den Strahl fortpflanzenden Schwingungen des einen der beiden gebrochenen Strahlen finden senkrecht statt zu denen des anderen, oder mit andern Worten:

> Die beiden Strahlen, in welche jeder in einen doppelt brechenden Körper gelangende Lichtstrahl zerlegt wird, sind senkrecht gegeneinander polarisiert.

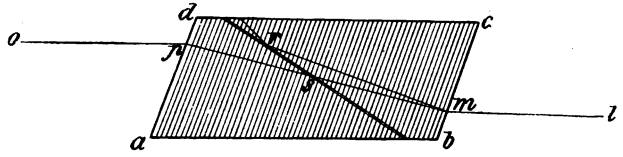
Wir sind nun im stande, den Kalkspath so herzurichten, daß der eine der beiden polarisierten Strahlen nicht den Krystall passieren kann, dadurch erhalten wir, wenn wir durch ein derartiges Stück Kalkspath hindurchsehen, nur ein Bild von dem betreffenden Gegenstand, wenn auch nur halb so hell, weil die eine Hälfte der den Kalkspath durcheilenden Strahlen nicht zu uns gelangen kann. Die Herrichtung des Kalkspaths geschieht in folgender Weise. Man schleift die Fläche b c d e (Fig. 48) welcher bei den natürlichen Kalkspathstücken mit der Fläche a b c f einen Winkel von 71° bildet, so ab, daß der Winkel nur 68° beträgt, schleift die gegenüberliegende Fläche a h g f in gleicher Weise, daß sie der ersten parallel wird, zerschneidet alsdann den zubereiteten Krystall in der Fläche b e g f, so daß man zwei keilförmige Hälften erhält und kittet diese beiden Hälften mit Balsam wieder zusammen. In Fig. 49 sehen wir den Durchschnitt eines derartig zubereiteten Kalkspaths, den man als Nicolsches Prisma

Fig. 48.



bezeichnet, weil der Physiker Nicol zuerst die Herstellung desselben gelehrt hat. Wenn Lichtstrahlen in das Prisma gelangen, so werden sie gebrochen und in den beiden Richtungen m r und m s sich fortbewegen. Um in die zweite Hälfte des Prismas einzudringen, müssen die Lichtstrahlen zunächst die Balsamschicht, die weniger stark brechend ist, wie Kalkspath, durchwandern. Sie werden demnach erst inder Balsamschicht d b gebrochen und von da beim Eintritt in die zweite Hälfte des Prismas wieder gebrochen werden. Aber von den beiden Strahlenbündeln m r und m s vermag nur das eine, m s, die Balsamschicht zu passieren, das andere m r kann nicht in die Balsamschicht eindringen, weil der Winkel, unter welchem es die Schicht erreicht, größer ist als der Grenzwinkel (vergl. S. 78). Das Strahlenbündel m r wird in

Fig. 49.



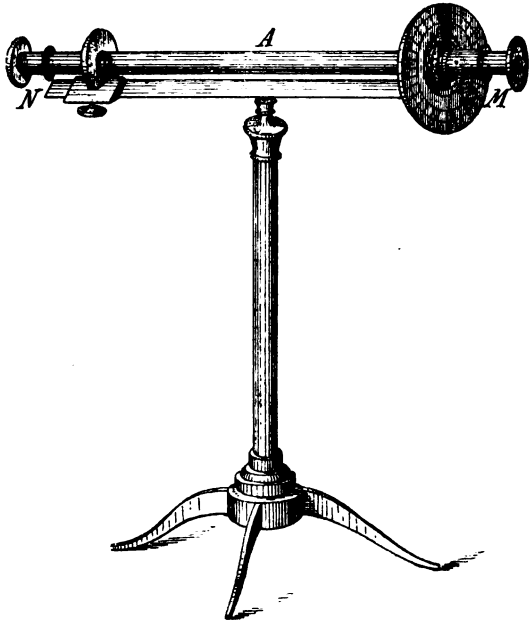
r vollständig reflektiert und geht für uns verloren. Das Auge in o sieht deshalb nur die eine Hälfte der Strahlen, die in der Richtung m s sich fortbewegenden. Diese Strahlen sind aber vollständig polarisiert. Denken wir uns nun, daß die Schwingungen der Ätherteilchen der Strahlen p o Fig. 49 in der Richtung a b (Fig. 47) erfolgen und legen wir ein zweites Nicolsches Prisma so vor das erste, daß die Schwingungsrichtung der Ätherteilchen ebenfalls in a b ist, so können die Strahlen durch das zweite Prisma ungehindert hindurchgehen. Wenn wir aber das zweite Prisma langsam drehen, ohne es sonst aus seiner Lage gegen das erste herauszubringen, so wird immer weniger Licht durch das zweite hindurchdringen, bis schließlich, sobald wir dasselbe um 90° gedreht haben, überhaupt kein Licht mehr hindurch kommt. Da nämlich die Ätherteilchen der Strahlen,

die ein Nicolsches Prisma passiert haben, gezwungen sind, in einer Richtung zu schwingen, die von der Stellung des Prismas abhängt und mit derselben sich dreht, so können Lichtstrahlen, bei denen die Schwingungsrichtung der Ätherteilchen a b ist, nicht durch einen Stoff hindurchgehen, bei welchem die Ätherteilchen gezwungen sind, nur in einer zu a b senkrechten Richtung zu schwingen. Zwei Nicolsche Prismen, die so aneinander gestellt sind, daß die Polarisationsebene des einen senkrecht ist zu der des anderen, lassen kein Licht durch, „sie geben ein dunkles Gesichtsfeld". Die Fassung eines Nicol'schen Prismas ist in Fig. 51 anschaulich gemacht. Man benutzt diese Prismen zu den sog. Polarisationsapparaten. Einen einfachen derartigen Apparat zeigt Figur 50. M und N sind zwei in Messingeinfassung befindliche Nicol's, zwischen welche eine innen geschwärzte Messingröhre eingeschoben werden kann. Das eine der beiden Nicol's (M) ist drehbar, so daß, wenn man auf irgend einen hellen Gegenstand, etwa ein Licht hinsieht, man je nachdem man das Nicol dreht, das Licht entweder sieht oder nicht sieht. Mit Hilfe eines derartigen Polarisationsapparates kann man untersuchen, ob ein Kryſtallsplitter von irgend einer Substanz doppelt brechend ist oder nicht, es würde uns jedoch zu weit führen, diese nur für die Wissenschaft wichtige Thatsache hier auszuführen. Eine andere auffallende Eigenschaft, auf die wir später noch einmal zurückkommen werden, sei hier erwähnt. Wenn wir durch den Polarisationsapparat nach einem Licht, welches nur einfarbige Lichtstrahlen aussendet, (man kann dazu am bequemsten eine Spiritusflamme verwenden, die durch Aufstreuen von etwas Kochsalz auf den Docht mit rein gelber Farbe brennt) hinblickt und das eine Nicol langsam dreht, bis eben das Licht nicht mehr zu sehen ist, und dann zwischen die beiden Nicols eine

Fig. 50.

Zuckerlösung bringt, so erscheint augenblicklich wieder das Licht. Man hat sehr bald gefunden, daß man das eine Nicol nach rechts hin um eine bestimmte Anzahl von Graden drehen muß, um wieder ein dunkles Gesichtsfeld zu erhalten. Die Größe der Drehung hängt von der Dicke der Schicht der Zuckerlösung, durch die man blicken muß, ab, außerdem von der Menge des

Fig. 51.



Zuckers, der in der Lösung sich befindet. Nun bleibt für denselben Apparat die Dicke der Schicht der Lösung sich immer gleich. Man bringt nämlich die Lösung in der Weise zwischen die beiden Nicol, daß man eine Messingröhre, welche an beiden Enden mit Glasplatten wasserdicht verschlossen werden kann, mit der Lösung völlig füllt und diese Röhre in das Verbindungsrohr A (Fig. 51) einschiebt. Die Röhre ist gewöhnlich

(ohne die Gläser) 200 mm lang, so daß also die Dicke der Flüssigkeitsfläche 200 mm beträgt. Da bei gleichbleibender Flüssigkeitsschicht es lediglich auf den Zuckergehalt der Lösung ankommt und eine Flüssigkeit, welche 10 Proc. Zucker enthält, eine doppelt so starke Drehung des einen Nicols nach rechts erfordert, wie eine 5 procent. Lösung, so kann man aus der notwendigen Drehung bis zur Gewinnung eines dunklen Gesichtsfeldes den Gehalt der Lösung an Zucker erkennen, wenn die erforderliche Drehung für jedes Proc. Zucker bekannt ist. So hat man in der That Apparate konstruiert, welche gestatten in kürzester Zeit den Gehalt von z. B. Rübensaft an Zucker zu erkennen und welche auf diesem Prinzipe beruhen.

Außer dem Zucker giebt es noch eine große Anzahl von Stoffen, welche dieselbe Eigenschaft, „die Polarisationsebene zu drehen" besitzen, organische Stoffe, die nicht in krystallisiertem, sondern nur in gelöstem Zustande „drehend" wirken, „optisch aktiv" sind, z. B. die sog. Weinsäure, das Terpentinöl, das Chinin, das Morphium ꝛc. ꝛc. In festem krystallisiertem Zustande vermögen nur wenige Substanzen „die Polarisationsebene zu drehen", von denen der Bergkrystall die weitaus wichtigste ist.

Wir sehen demnach, wenn wir das bisher Besprochene zusammenfassen, daß die bis jetzt abgehandelten Naturkräfte, die Anziehungskraft der Massen, der Schall, das Licht, die Wärme eine Bewegung hervorrufen, und daß lediglich die verschiedene Form und Geschwindigkeit der Bewegung die verschiedenartigen Naturerscheinungen hervorruft. Nun aber vermögen wir diese Form auch zu ändern, d. h. wir können die Naturkräfte in einander verwandeln, wir vermögen durch Erwärmen von Wasser Dampf zu erzeugen, welcher dann durch den Druck, den er ausübt, Massen in Bewegung setzt, umgekehrt können wir durch Reibung Wärme hervorbringen u. s. w. Da hat man erst in neuerer Zeit nachweisen können, und es haben der Heilbronner Arzt J. R. Mayer (1842), dann Helmholtz, Joule, Thomsen sich am meisten um diesen Nachweis verdient gemacht, daß bei einer

solchen Umsetzung einer Naturkraft in eine andere nichts von der Kraft verloren geht, ebenso wenig wie etwas zur Kraft hinzukommt. Es ist das Prinzip von der Erhaltung der Kraft, welches wesentlich zur wahren Erkenntnis der Natur beigetragen hat. Wir haben aber eine Naturkraft bis jetzt völlig unberücksichtigt gelassen, eine Kraft, die gerade in unseren Tagen das Interesse der gesamten zivilisierten Welt in erhöhtem Maße in Anspruch nimmt, weil sie berufen zu sein scheint, unsere Lebensverhältnisse ebenso umzugestalten, wie die Entdeckung der Ausnutzung der Dampfkraft, das ist die Elektrizität. Allein wir haben deshalb diese Kraft bis hierher nicht erwähnt, weil wir noch nicht mit der an Gewißheit grenzenden Wahrscheinlichkeit, wie bei der Wärme, dem Licht ꝛc., annehmen können, daß die Elektrizität nichts anders sei als eine eigentümliche Form von Bewegung. Freilich hat es allen Anschein, daß dies der Fall ist, schon weil wir mit Leichtigkeit mechanische Kraft in Elektrizität und diese wieder in mechanische Kraft, in Wärme, Licht ꝛc. umwandeln können, und gerade diese Umwandlung der mechanischen Kraft in Elektrizität und dieser in Licht ist es, welche jetzt bei der Herstellung des elektrischen Lichts benutzt wird. Wir werden auf den folgenden Seiten manches von den elektrischen Erscheinungen zu besprechen haben, wollen aber hier, da wir dieselben doch nicht auf ein Grundprinzip zurückführen können, nicht weiter darauf eingehen.

Chemische Erscheinungen.

Bisher wurde nur von den Molekeln, d. h. den freien, in steter Bewegung befindlichen kleinsten Teilchen, aus denen jede Materie besteht, und die vollkommen die Eigenschaften der gesamten Substanz besitzen, gesprochen. Allein die Molekeln selbst sind ihrerseits meist sehr komplizierte Körperchen und bestehen aus noch kleineren Teilchen, die uns von nun ab hauptsächlich

beschäftigen werden. Die meisten in der Natur vorkommenden, ebenso wie die im Laboratorium des Chemikers dargestellten Stoffe sind zusammengesetzte Körper, und es gelingt nach verschiedenen Methoden, von denen einige später besprochen werden sollen, die Körper zu zerlegen. Da nun jeder kleinste Teil des Stoffes, seine Molekel, auch vollkommen seine Eigenschaften besitzt, so müssen die Molekeln der zusammengesetzten Stoffe ebenfalls zusammengesetzt sein, d. h. aus Teilchen der sie zusammensetzenden Stoffe bestehen. Diese Bestandteile der Molekeln nennt man Atome. Der Name „unteilbare" (das Wort „Atome" bedeutet unteilbar) ist deshalb gewählt, weil wir mit unseren jetzigen Mitteln nicht imstande sind, dieselben noch weiter zu zerlegen, ohne damit etwa die Behauptung zu verbinden, daß die Atome die letzten kleinsten Partikel aller Materie sein müssen. Es ist durch neuere Forschungen sogar wahrscheinlich gemacht, daß die Atome ihrerseits wieder Komplexe noch kleinerer Teilchen sind. Allein dieser Umstand beeinträchtigt die folgenden Schlußfolgerungen in keiner Weise.

Ehe wir zur Besprechung der Gesetze, welche die Bewegung der Atome beherrschen, übergehen, müssen wir die in den früheren Auseinandersetzungen völlig außer Acht gelassene Naturkraft, die Elektrizität, wenigstens in ihren Grundzügen besprechen. Seit alten Zeiten kennt man die Eigenschaft des Bernsteins, (den die Griechen Elektron nannten), durch Reiben die Fähigkeit zu erlangen, kleine leichte Gegenstände, wie Papierschnitzel, Hollundermarkkügelchen ꝛc., anzuziehen, dann abzustoßen, wieder anzuziehen und abzustoßen u. s. f., und hat diese Eigenschaft als Elektrizität bezeichnet.

Außer Bernstein besitzen alle Harze, ferner Glas u. a. Körper die Fähigkeit durch Reiben elektrisch zu werden, und um die Mitte des vorigen Jahrhunderts konstruierte man zuerst die Reibungselektrisiermaschine und beobachtete den elektrischen Funken. Um etwa dieselbe Zeit (1752) wies Franklin nach, daß der Blitz nichts als ein gewaltiger elektrischer Funke und der Donner lediglich

das durch die Erschütterung der Luft infolge des Durchschlagens des Blitzes durch dieselbe hervorgebrachte Geräusch sei. Andererseits fand Gray im Jahre 1727, daß Metallstangen nur deshalb beim Reiben nicht Elektrizität äußern, weil sämtliche erzeugte Elektrizität durch die Hand und den Körper des Experimentators abgeleitet wird, daß dieselben jedoch leicht ebenfalls elektrisch werden, wenn sie ohne direkte Berührung gerieben werden. So lernte man den Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern der Elektrizität kennen, fand, daß sämtliche Metalle mehr oder minder gute Leiter, sämtliche Harze, Glas, Kautschuk, Guttapercha, die Luft schlechte, Holz, der menschliche Körper ꝛc. ziemlich schlechte Leiter der Elektrizität sind.*)

Noch ein anderes Phänomen zog die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich. Man beobachtete nämlich, daß eine geriebene und dadurch elektrisch gemachte Siegellackstange einem an einen Seidenfaden aufgehängten Hollundermarkkügelchen genähert das Kügelchen zunächst anzieht, so daß dasselbe an die Stange fliegt und daran haften bleibt. Sobald man aber die Stange entfernt und sie zum zweitenmale in die Nähe des Kügelchens bringt, wird das letztere abgestoßen, es entfernt sich immer mehr von der Stange. Nähert man nun aber dem Kügelchen einen mit einem Stück Seidenzeug geriebenen elektrisch gemachten Glasstab, so wird das Kügelchen sofort sehr kräftig angezogen. Man

*) Wie für die Wärme und für das Licht nahm man auch für die Elektrizität an, daß sie ein unwägbarer, mit den materiellen Körpern vereinigter Stoff sei, oder vielmehr, wie aus dem Folgenden hervorgeht, aus zwei einander entgegengesetzten unwägbaren Stoffen bestehe, und es rühren alle Bezeichnungen für die elektrischen Erscheinungen aus der Periode her, wo diese Annahme die allein giltige war. So sagt man, die Elektrizität wird von einem Körper auf einen andern „übergeleitet", sie „durchströmt" einen Körper, „verteilt" sich über den Körper u. s. w. Aber wenn auch diese Annahme jetzt kaum noch gemacht wird, so ist man doch über das Wesen der Elektrizität noch sehr im Dunkeln, namentlich hat man die Erscheinungen derselben noch nicht in einfacher Weise auf irgend eine Bewegungsform, vielleicht des Weltenäthers zurückzuführen vermocht.

hat diese Erscheinung dadurch zu erklären gesucht, daß man annahm, die Siegellackstange habe ihre Elektrizität dem sie berührenden Kügelchen mitgeteilt, so daß dieses seinerseits elektrisch geworden ist. Aber die Elektrizität des Siegellacks (und aller Harze) sei zwar in ihren Wirkungen im allgemeinen gleich, jedoch in einer Beziehung verschieden von der Elektrizität des Glases, darin nämlich, daß sie die Elektrizität der Harze (und damit leichte mit Harzelektrizität beladene Körper) abstößt, während sie Glaselektrizität anziehe. Man hat die Harzelektrizität als negative, die Glaselektrizität als positive Elektrizität bezeichnet und die besprochene Erscheinung durch den allgemeinen Satz erklärt: Gleichnamige Elektrizitäten (positive und positive, ebenso negative und negative) stoßen sich ab, ungleichnamige Elektrizitäten (positive und negative) ziehen sich an.

Außerdem fand man, daß wenn zwei gleich stark elektrisch gemachte Körper, von denen der eine positive, der andere negative Elektrizität besitzt, sich berühren, sofort beide Körper aufhören elektrisch zu sein. Positive und negative Elektrizität, sagte man, gleichen sich aus, strömen in einander über.

Ferner wurde die scheinbar in ein ganz anderes Gebiet fallende Erscheinung, welche Galvani 1789 in dem bekannten Froschschenkelexperiment beobachtete, bald von Volta richtig gedeutet. Galvani erklärte das Zucken der frischen an Kupferdrähten hängenden Froschschenkel, sobald dieselben gleichzeitig mit dem Kupferdraht mit einem Zinkstab berührt wurden, als Äußerung der Lebenskraft. Man hatte nämlich bis dahin vergeblich sich bemüht, irgend einen im Pflanzen- oder Tierleib vorkommenden Stoff künstlich darzustellen und nahm daher an, in der organischen Welt wirke und schaffe eine besondere geheimnisvolle Kraft, ganz verschieden von den in der anorganischen Natur waltenden Kräften (der Erdgeist im Faust) und nannte diese eigentümliche Kraft Lebenskraft. Aber Volta zeigte bald darauf, daß bei Berührung eines Kupferstabes mit einem Zinkstabe sofort eine kleine Menge positiver Elektrizität am anderen

Ende des Kupferstabes und negativer Elektrizität am Zinkstabe entstehe, daß diese Elektrizitäten sich ausgleichen, sobald zwischen dem Zink- und dem Kupferstab eine zweite Berührungsstelle durch Zwischenschieben eines leitenden Körpers hergestellt wird, und daß die Zuckung des Froschschenkels nur die Folge der Elektrizitätsausgleichung sei. Da jedoch die Bedingung für Entstehung von Elektrizität, die Berührung zwischen dem Zink- und dem Kupferstab, noch vorhanden ist, so muß folgerichtig im nächsten Augenblick, nachdem die zuerst entstandenen Elektrizitäten sich ausgeglichen haben, wiederum positive Elektrizität am Kupfer-, negative am Zinkstabe entstanden sein, und wenn die Ausgleichung beider ununterbrochen stattfinden kann, so muß dieselbe auch fortdauernd stattfinden, so daß wir also die Bedingungen für in jedem Moment entstehende und wieder sich ausgleichende fortdauernd hin- und herströmende Elektrizitäten haben, d. h. einen elektrischen Strom. Die Menge der in jedem Moment erzeugten Elektrizität wird viel größer, wenn die beiden Metalle sich nicht direkt berühren, sondern durch eine Flüssigkeitsschicht getrennt sind, wobei die Flüssigkeit die Vermittelung zur Elektrizitätserzeugung übernimmt.

Sobald also zwei verschiedene Metalle, die durch eine Flüssigkeitsschicht voneinander getrennt sind, an ihren aus der Flüssigkeit hervorragenden Teilen miteinander durch einen Leiter in Verbindung gesetzt werden, entsteht ein elektrischer oder galvanischer Strom. In Figur 52 auf Seite 104 sei a ein Wasserglas, welches zu etwa $^3/_4$ mit Wasser gefüllt ist. In das Wasser taucht ein Zinkstab Z und ein Kupferstab K. Beide Stäbe sind durch einen Draht l miteinander verbunden. In diesem Apparat strömt ununterbrochen Elektrizität von dem Kupferstab in den Draht, durch diesen in den Zinkstab, von diesem durch das Wasser wieder in den Kupferstab, weil in jedem Augenblick am Zinkstab positive und am Kupferstab negative Elektrizität entsteht und diese beiden in jedem Augenblick sich wieder ausgleichen. Die Stärke des Stromes hängt ab von der Natur der beiden Me-

talle, so daß z. B. bei sonst ganz gleichen Bedingungen ein Zink- und ein Kupferstab nicht so viel Elektrizität erzeugt, wie ein Zink- und ein Platin- oder ein Zink- und ein Kohlestab, ferner von dem Leitungsvermögen der Flüssigkeit und der zwischen den beiden Metallen außerhalb der Flüssigkeit hergestellten Verbindungen. Am gebräuchlichsten ist der von Bunsen angegebene und in nebenstehender Figur 53 abgebildete Apparat. In dem Glase a befindet sich ein poröses Thongefäß b, durch welches Flüssig-

Fig. 52.

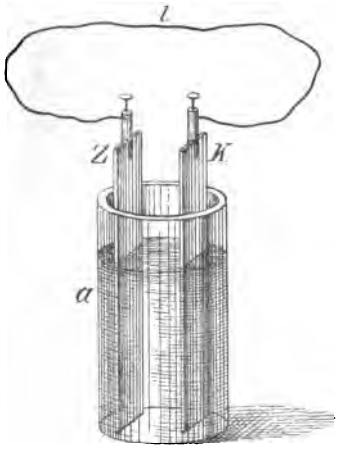
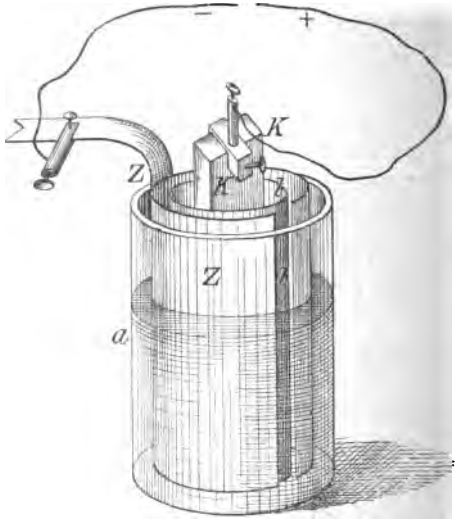


Fig. 53.

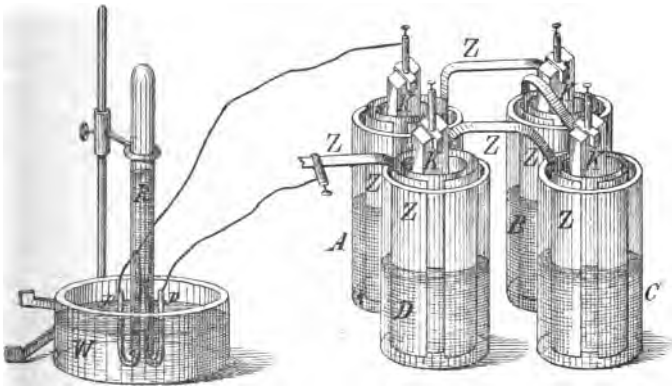


keiten hindurchdringen können. Zwischen dem Glase und dem Thongefäß steht in verdünnte Schwefelsäure getaucht der Zinkcylinder Z, während im Thongefäß ein Kohlestab K in starker Salpetersäure sich befindet. Es strömt alsdann, sobald das aus der Flüssigkeit ragende Ende des Zinkcylinders mit dem Kohlestab in Verbindung gesetzt wird, durch den Leitungsdraht ein galvanischer Strom vom Kohlestab zum Zinkcylinder. Wir bezeichnen ein zur Erzeugung eines galvanischen Stroms herge-

richtetes Gefäß galvanisches Element. Wenn wir mehrere galvanische Elemente miteinander verbinden, so erhalten wir eine galvanische Batterie, wie in Fig. 54, wo durch kurze Metallstreifen die Kohlenstäbe der vier Elemente mit den Zinkcylindern verschraubt sind.

Nachdem wir in den vorhergehenden Seiten die Mittel zur Erzeugung eines galvanischen Stromes kennen gelernt haben, wollen wir die Wirkung desselben auf einige Stoffe besprechen. Wenn wir mit Hilfe des in Fig. 54 abgebildeten Apparats die beiden Drahtenden (die beiden Pole) in Wasser, dem wir der

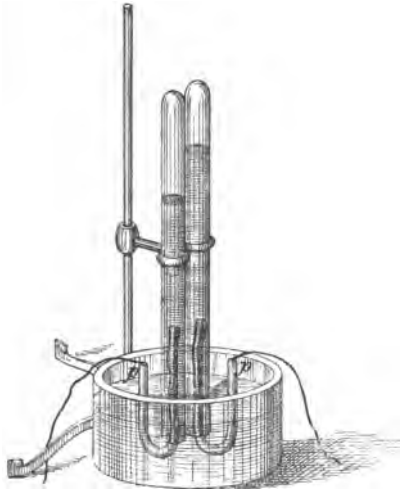
Fig. 54.



besseren Leitungsfähigkeit wegen etwa 6—8 Proc. Schwefelsäure zugesetzt haben, eintauchen, so beobachten wir eine eigentümliche Erscheinung. Der Apparat besteht aus 4 Bunsenschen Elementen A B C D, bei denen das Ende des Zinkcylinders Z des Gefäßes A verbunden ist mit dem Kohlestab K des Gefäßes B, des Zinkcylinders von B mit dem Kohlestab von C, des Zinkcylinders von C mit dem Kohlestab von D, während am Kohlestab von A und am Zinkcylinder von D Kupferdrähte befestigt sind, welche sich an keinem Punkt gegenseitig berühren dürfen. Wenn wir die Enden der beiden Kupferdrähte mit den beiden kleinen Platindrähten p,

welche in die mit Wasser gefüllte und in der Glasschale W umgestülpte Glasröhre R so eingesetzt sind, daß sie sich gegenüberstehen, in Verbindung setzen, so beobachten wir augenblicklich die Entstehung kleiner Bläschen, die schnell anwachsen, in die Höhe steigen und ein Moussieren des Wassers bewirken. Das Wasser sinkt schnell in der Röhre, über dem Wasser hat sich scheinbar Luft angesammelt. Wir erlangen jedoch eine bessere Erkenntnis dessen, was mit dem Wasser beim Durchströmen der Elektrizität geschieht, wenn wir unseren Apparat ein wenig abändern. Wir vertauschen nämlich die Röhre R durch zwei Röhren, deren jede von einem Platindraht p durchsetzt ist, wie in Fig. 55. Auch hier beginnen augenblicklich, sobald wir die beiden Kupferdrähte mit den beiden Platindrähten in Verbindung gesetzt haben, in beiden Röhren kleine Bläschen sich zu bilden, die in die Höhe steigen und über dem Wasser sich ansammeln, so daß das Niveau des Wassers langsam sinkt. Dabei behält das Wasser nahezu seine ursprüngliche Temperatur; es kann demnach keineswegs Wasserdampf sein, der in dem oberen Teil der beiden Röhren sich ansammelt, es muß eine bei gewöhnlicher Temperatur gasförmige Substanz, wie die uns umgebende Luft, sein. In jeder der beiden Röhren ist demnach eine Luftart, ein Gas entstanden, und zwar ist, wie eine nähere Untersuchung leicht ergiebt, in jeder Röhre ein besonderes und von der atmosphärischen Luft verschiedenes Gas entstanden.

Fig. 55.



Zunächst fällt uns auf, daß das Niveau des Wassers in beiden Röhren nicht gleichmäßig sinkt, daß also die Menge des Gases welches in jedem Augenblick in der einen Röhre (deren Platindraht mit dem Zinkcylinder der Batterie verbunden ist) sich bildet, weit größer ist als in der anderen Röhre, und wenn wir den Inhalt der beiden Röhren genau kennen, so sehen wir, daß in dem einen Rohr stets genau doppelt so viel Gas vorhanden ist, wie in dem anderen Rohr, wenn z. B. in dem einen Rohr sich zwei Kubikcentimeter Gas angesammelt haben, sind in dem anderen vier Kcm. vorhanden, hat sich in dem ersten Rohr die Gasmenge nach einigen Minuten auf drei Kcm. vermehrt, so ist in derselben Zeit die Quantität des Gases in dem zweiten Rohr auf 6 Kcm. gestiegen u. s. f. Wenn wir ferner nach Unterbrechung des Stromes die beiden Röhren, nachdem wir ihre untere offene Seite mit dem Finger verschlossen haben, aus dem Wasser herausheben, umdrehen und sogleich eine brennende Kerze an die Mündung der Röhren bringen, so entzündet sich das Gas in derjenigen Röhre, welche die größere Gasmenge enthält und brennt mit bläulicher, kaum leuchtender Flamme, während das Gas in der anderen Röhre sich nicht entzündet. Dagegen zeigt diese zweite Gasart eine andere Eigenschaft, an der sie leicht zu erkennen ist, die nämlich, daß wenn man eine ausgelöschte aber noch glimmende Kerze in die Röhre bringt, die Kerze sofort wieder hell zu brennen beginnt und mit weit größerer Intensität brennt, wie in gewöhnlicher Luft. Diese beiden Gase sind aus dem Wasser entstanden, sie müssen in dem Wasser enthalten gewesen sein, jede noch so kleine Wassermenge, gleichgiltig ob wir das Wasser in festem, oder flüssigem oder gasförmigem Zustande anwenden, läßt infolge der Einwirkung des elektrischen Stromes diese beiden Gase entstehen, dieselben müssen demnach in jeder Wassermolekel vorhanden gewesen, Bestandteile derselben sein. Das brennbare Gas hat man Wasserstoff genannt, das zweite Sauerstoff, weil Lavoisier, der das Gas mit diesem Namen belegt hat (Oxygène, Säurerzeuger), in der irrigen Voraussetzung

sich befand, daß es in allen sauren Stoffen, in allen Säuren, ein notwendiger Bestandteil sei.

Aus diesem Beispiel ersehen wir nicht nur, daß wir imstande sind, die Wassermolekeln noch weiter zu verändern, sondern daß auch sehr einfache Verhältnisse in Beziehung der Volumina der gasförmigen Bestandteile der Wassermolekeln vorhanden sind, auf je ein Volumen Sauerstoff werden zwei Volumina Wasserstoff aus dem Wasser erzeugt, es müssen demnach auch je zwei Volumina Wasserstoff auf je ein Volumen Sauerstoff im Wasser, oder vielmehr in jeder Wassermolekel enthalten sein.

Aber nicht nur das Wasser, sondern alle zusammengesetzten flüssigen und gasförmigen Stoffe werden, wenn die Elektrizität sie überhaupt zu durchströmen vermag, zerlegt, und es entstehen je zwei Bestandteile dieser Stoffe, indem an dem einen Ende des Leitungsdrahts, dem einen „Pol", der eine, am zweiten der andere Bestandteil sich abscheidet. Wenn wir daher die Versuche in derselben Weise wie bei der Zerlegung des Wassers anstellen, daß nämlich die beiden Produkte, welche aus den der Zerlegung unterworfenen Stoffen entstehen, getrennt voneinander gesammelt werden können, so sind wir schon befähigt, eine sehr große Zahl von Stoffen auf diese Weise in je zwei einfachere Bestandteile zu spalten. Des besseren Verständnisses wegen wollen wir eine kleine Zahl von Beispielen anführen.

Wir benutzen zunächst die für gewerbliche Zwecke so vielfach verwendete und daher allgemein gekannte Salzsäure, die stechend riechende und an der Luft Nebel bildende Flüssigkeit, welche auch nach starker Verdünnung mit Wasser noch intensiv sauer schmeckt. Diese Flüssigkeit ist nichts anderes als eine Auflösung von Salzsäure in Wasser. Die reine Salzsäure nämlich ist bei gewöhnlicher Temperatur ein gasförmiger Körper, von stechendem Geruch, farblos und darum nicht sichtbar, aber sobald das Gefäß, in welchem sie sich befindet, geöffnet wird, sobald sie also mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt, dicke weiße Nebel bildend; ferner äußerst leicht in Wasser löslich, so daß, wenn

ein mit Salzsäuregas gefülltes Gefäß unter Wasser geöffnet wird, das Wasser mit solcher Gewalt in das Gefäß stürzt, als wenn das letztere luftleer gewesen wäre. Wegen der Leichtlöslichkeit des Salzsäuregases in Wasser benutzt man fast stets die wässerige Lösung des Gases und auch wir können für unseren Versuch uns der wässerigen Salzsäure bedienen.

Leitet man durch einen Apparat, der ganz ähnlich dem von uns zur Wasserzersetzung benutzten und mit wässeriger verdünnter Salzsäure gefüllt ist, einen kräftigen galvanischen Strom, so beobachtet man auch in diesem Falle alsbald ein Aufsteigen von Gasbläschen in jeder der beiden Röhren, aber abweichend, wie bei der Zersetzung des Wassers, sehen wir 1) daß die in den beiden Röhren sich ansammelnden Gasmengen stets sich gleich bleiben und 2) daß nur das eine Gas farblos ist, das andere dagegen grüngelb gefärbt ist. Bei Unterbrechung des Versuchs und Untersuchung der Gase erkennen wir in dem farblosen Gase durch seine Brennbarkeit sofort Wasserstoff, also dasselbe Gas, welches wir aus dem Wasser gewonnen haben, in dem zweiten Gase dagegen haben wir einen neuen Stoff vor uns, der wegen seiner Farbe mit dem Namen Chlor (chloros heißt gelbgrün) belegt worden ist. Wasserstoff und Chlor müssen demnach als Bestandteile in der Salzsäure vorhanden gewesen sein; mit Hilfe des galvanischen Stromes haben wir die Salzsäure in Wasserstoff und Chlor zerlegt.

In gleicher Weise sind wir imstande, die im Handel gewöhnlich als Salmiakgeist bezeichnete Flüssigkeit, durch den elektrischen Strom zu zerlegen. Es ist nämlich der Salmiakgeist zwar in reinem Zustande eine gasförmige Substanz, aber gleich der Salzsäure so leicht in Wasser löslich, daß man nicht nur im alltäglichen Gebrauch, sondern sogar in unserem Falle eine derartige wässerige Lösung statt des Gases selbst anwenden kann. Übrigens kennzeichnet sich der Salmiakgeist genügend durch seinen eigentümlichen, äußerst stechenden Geruch. Leiten wir nun einen elektrischen Strom durch die zwei in Fig. 55 dargestellten und mit

einer Lösung von Salmiakgeist gefüllten Röhren, so beobachtet man ebenfalls ein Aufsteigen von Gasbläschen in beiden Röhren. Allein zugleich beobachten wir, daß die in dem oberen Teile der Röhren sich sammelnden Gase beide farblos sind und daß in dem einen Rohr dreimal so viel Gas sich ansammelt, wie in dem anderen Rohr. Sobald nämlich in dem einen Rohr 6 Kubikcentimeter Gas sich gesammelt haben, sind in dem zweiten Rohr nur 2 Kubikcentimeter vorhanden u. s. w. Untersuchen wir, nachdem der elektrische Strom genügend lange gewirkt, also eine genügende Menge der beiden Gase sich gebildet hat, den Inhalt der beiden Röhren, so giebt sich das in der dreifachen Menge entstandene Gas durch seine leichte Brennbarkeit sofort als Wasserstoff zu erkennen, während das Gas in dem zweiten Rohr weder brennbar ist, noch eine glimmende Kerze zum hellen Brennen veranlaßt, ja sogar eine hineingehaltene brennende Kerze sofort zum völligen Erlöschen bringt. Das im übrigen farb- und geruchlose Gas hat man, da bei seiner Entdeckung die Beobachtung gemacht wurde, daß Tiere in ihm sofort ersticken, Stickstoff genannt. Im Salmiakgeist müssen demnach Wasserstoff und Stickstoff als Bestandteile enthalten sein.

Aber auch Stoffe, welche bei gewöhnlicher Temperatur fest sind, können wir durch den galvanischen Strom zerlegen, vorausgesetzt, daß wir sie vorher auf irgend eine Weise in den flüssigen Zustand übergeführt haben. Wenn wir z. B. unser gewöhnliches Kochsalz bis zum Glühen erhitzen, so schmilzt es zu einer farblosen Flüssigkeit, und wenn wir alsdann unter gewissen Vorsichtsmaßregeln durch das geschmolzene Salz einen galvanischen Strom hindurchleiten, so steigen an dem positiven Pol Gasbläschen in die Höhe, die wir an ihrer gelbgrünen Farbe und an ihrem erstickenden und zum Husten reizenden Geruch unschwer als Chlor erkennen, während an dem negativen Pol kleine, bei der hohen Temperatur geschmolzene, bei gewöhnlicher Temperatur feste, metallisch glänzende Kügelchen haften bleiben, die ihren Glanz an feuchter Luft schnell verlieren, auf Wasser geworfen sofort

mit großer Heftigkeit zu rotieren beginnen, schmelzen und nach und nach verschwinden, wenn sie dagegen in dem Wasser nicht so schnell zu rotieren vermögen, etwa dadurch, daß statt reinen Wassers Gummischleim verwendet wird, nach kurzer Zeit sich entzünden und mit intensiv gelber Farbe verbrennen. Diesen aus dem Kochsalz durch Einwirkung des galvanischen Stroms gewonnenen und in jeder Beziehung als Metall zu erkennenden Stoff hat man Natrium genannt. Im Kochsalz sind demnach das gasförmige Chlor und das Metall Natrium als Bestandteile enthalten.

In gleicher Weise können wir z. B. den, namentlich für medizinische Zwecke verwendeten, Ätzsublimat in Wasser lösen, auf diese Weise in den flüssigen Zustand überführen und durch die Lösung den galvanischen Strom hindurchleiten. Wir würden am positiven Pol auch hier Gasbläschen emporsteigen sehen, die wir leicht an ihrer Farbe und ihrem Geruch als Chlor erkennen und am negativen Pol ein flüssiges Metall sich abscheiden sehen, in dem wir sofort Quecksilber erkennen, so daß Chlor und Quecksilber aus dem Sublimat erhalten werden, folglich diese beiden Stoffe Bestandteile des Sublimats sein müssen.

Wie wir aus all' diesen Beispielen ersehen, sind wir imstande, mit Hilfe des galvanischen Stroms (andere Methoden werden wir später kennen lernen) eine große Zahl von Stoffen so zu verändern, daß die Molekeln derselben eine totale Umwandlung erfahren. Diese Art der Änderung in dem Zustande der Körper, wobei demnach die wesentlichsten Eigenschaften derselben eine völlige Änderung erleiden, bezeichnen wir als chemische Erscheinungen, im Gegensatz zu den physikalischen, bei denen die Molekeln der Stoffe intakt bleiben.

In der Wirkung des galvanischen Stroms haben wir somit ein Mittel kennen gelernt, welches uns gestattet, eine große Zahl von Stoffen, sobald dieselben im flüssigen Zustande sich befinden, in ihre Bestandteile zu zerlegen.

Alle Stoffe aber, welche wir durch irgend ein Mittel in

mehrere untereinander verschiedene Körper zerlegen können, bezeichnet man als zusammengesetzte Stoffe. Die bei weitem überwiegende Zahl der in der Natur vorkommenden und der im Laboratorium des Chemikers künstlich dargestellten Stoffe sind zusammengesetzt. Jedoch giebt es eine im Vergleich zu der unendlich großen Zahl der verschiedenen Stoffe nicht eben beträchtliche Anzahl von Substanzen, die man bis jetzt vergeblich weiter zu zerlegen versucht hat. Diese Stoffe, zu denen der Sauerstoff, der Wasserstoff, der Stickstoff, das Chlor, das Natrium und das Quecksilber gehören, nennt man unzerlegbare, einfache Stoffe, Elemente. So hat sich denn in der chemischen Wissenschaft der Begriff „Element" mit ganz anderer Bedeutung, als er ehedem gehabt hat, wieder eingebürgert. Für die Naturwissenschaft sind die Elemente solche Stoffe, welche durch die uns heute zur Verfügung stehenden Mittel als einfache, nicht in weitere Bestandteile zerlegbare Körper gelten. Dabei jedoch soll durchaus nicht geleugnet werden, daß es dereinst einmal gelingen könnte, alle Elemente oder vielleicht einen Teil derselben in noch einfachere Stoffe zu spalten.

Die Benutzung des galvanischen Stroms gestattete uns, eine Art chemischer Veränderung zu bewirken, nämlich die Zerlegung von Stoffen in ihre Bestandteile. Aber auch der entgegengesetzte Weg, die Erzeugung von zusammengesetzten Stoffen aus ihren Bestandteilen, steht uns in den meisten Fällen offen. Wenn wir z. B. Wasserstoff und Sauerstoff miteinander in dem Verhältnis mischen, wie wir es aus dem Wasser erhalten, d. h. je zwei Raumteile Wasserstoff auf einen Raumteil Sauerstoff, und das Gemisch anzünden, so entsteht aus ihnen in heftigster Explosion und unter betäubendem Knall Wasser. Wegen der Heftigkeit der Explosion, unter welcher die Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser erfolgt, darf man stets nur ein Gemisch von wenigen Kubikcentimetern entzünden.

Aus diesem Beispiele ersehen wir, daß der Wasserstoff und der Sauerstoff die einzigen Bestandteile des Wassers sind,

denn sie genügen zur Erzeugung von Wasser, ferner daß wir nicht nur das Wasser zu zerlegen, sondern auch aus seinen beiden Bestandteilen zusammenzusetzen, synthetisch darzustellen vermögen. In gleicher Weise gelingt es uns, aus Wasserstoff und Chlor die Salzsäure, aus Natrium und Chlor das Kochsalz, aus Quecksilber und Chlor den Sublimat, nicht aber aus Stickstoff und Wasserstoff das Ammoniak synthetisch darzustellen.

Allem eine sehr überraschende und in die Natur der Stoffe einen tiefen Einblick gewährende Gesetzmäßigkeit hat man schon frühzeitig bei der Vereinigung der zusammengesetzten Stoffe aus ihren Elementen und selbstverständlich ebenso bei der Zerlegung der zusammengesetzten Stoffe in ihre elementaren Bestandteile erkannt. Nicht jede beliebige Menge Wasserstoff vermag sich mit jeder beliebigen Menge Sauerstoff zu verbinden, vielmehr vereinigen sich stets nur zwei Volumina Wasserstoff mit einem Volumen Sauerstoff. Freilich steht es in unserem Belieben, ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff in jedem Verhältnis zu einander herzustellen. Wenn wir z. B. ein Gemisch aus 10 cbcm Wasserstoff und 10 cbcm Sauerstoff, also aus gleichen Raummengen beider Gase, bereiten, dieses Gemisch in einen geschlossenen Raum, etwa durch den elektrischen Funken, entzünden, so erhalten wir zwar unter Explosion Wasser, aber wir finden nach Beendigung des Versuchs noch volle 5 cbcm Sauerstoff als solchen vor, so daß das entstandene Wasser zu seiner Erzeugung außer den 10 cbcm Wasserstoff nur 5 cbcm Sauerstoff, also dem Volumen nach halb so viel wie Wasserstoff, verbraucht hat. Es erfolgt demnach die Bildung von Wasser aus seinen beiden Bestandteilen Wasserstoff und Sauerstoff unter allen Umständen, auch wenn die beiden Gase in beliebigen Mengenverhältnissen miteinander vermischt worden sind, stets in der Weise, daß je ein Raumteil Sauerstoff mit je zwei Raumteilen Wasserstoff sich vereinigen. Sowohl bei der Zersetzung des Wassers in seine Bestandteile, wie bei der Bildung von Wasser aus seinen Bestandteilen ist das Verhältnis

der beiden Bestandteile ein vollkommen konstantes, unabänderliches.

Dasselbe gilt von der Salzsäure, vom Kochsalz, vom Sublimat, ja von allen den fast unzählbaren Stoffen, die bis jetzt untersucht worden sind.

Noch deutlicher tritt die zu besprechende Regelmäßigkeit hervor, wenn wir die Gewichtsmengen der sich untereinander verbindenden Elemente in Betracht ziehen.

Allein hierbei ist eine kurze Bemerkung vorauszuschicken. Unsere im täglichen Verkehr geltenden Gewichte beziehen sich auf eine willkürlich gewählte Einheit. Eine absolute Gewichtseinheit giebt es nicht, und da das Gewicht eines Körpers nichts anderes ist, als die Größe der Kraft, mit welcher der betreffende Körper von der Erde angezogen wird, d. h. mit anderen Worten, als der Druck, den der Körper auf seine Unterlage ausübt, so benutzen wir irgend einen Körper, dessen Gewicht wir vergleichen mit dem Gewicht des zu untersuchenden Körpers. Um jedoch für den täglichen Verkehr die Gewichte der verschiedenen Stoffe besser miteinander vergleichen zu können, hat man ein beliebiges Gewicht als Einheit gewählt, in den verschiedenen Zeiten und den verschiedenen Ländern verschiedene Gewichtseinheiten angenommen, in Deutschland hatte fast jeder Kleinstaat ein besonderes Pfundgewicht, bis zur Zeit der französischen Revolution eine Gelehrtenkommission das Gewicht eines Kubikcentimeters Wasser bei dessen größter Dichtigkeit, bei 4,1°, als Einheit vorschlug. Diese Gewichtseinheit, welche nicht nur in Frankreich, sondern bei fast allen romanischen Völkern und jetzt auch in Deutschland Eingang gefunden hat, ist das Gramm. Allein es hat sich für die Bedürfnisse des Chemikers als bei weitem bequemer herausgestellt, bei Betrachtung der Verbindungsverhältnisse der elementaren Stoffe in den zusammengesetzten Körpern nicht das Gramm als Gewichtseinheit zu Grunde zu legen, sondern das Gewicht eines Volums Wasserstoff. So ist z. B. der Sauerstoff sechzehn mal so schwer als Wasserstoff, das

Chlor 35,5, der Stickstoff 14 mal so schwer als ein genau gleiches, unter demselben Druck und bei derselben Temperatur gewogenes Volum Wasserstoff. Wir werden daher die in den oben besprochenen Beispielen der Zersetzung des Wassers, der Salzsäure, des Ammoniaks die Mengenverhältnisse auch in der Weise ausdrücken können, daß wir sagen:

> Bei der Zersetzung des Wassers entstehen auf je zwei Gewichtsteile Wasserstoff 16 Gewichtsteile Sauerstoff, (da jedes Sauerstoffvolumen 16 mal so viel wiegt, wie dasselbe Wasserstoffvolumen und bei der Zersetzung des Wassers auf jedes Volumen Sauerstoff je zwei Volume Wasserstoff entstehen). Ferner entstehen bei der Zersetzung der Salzsäure auf je einen Gewichtsteil Wasserstoff 35,5 Gewichtsteile Chlor, (denn bei der Zersetzung der Salzsäure entstehen genau gleiche Volume Wasserstoff und Chlor, und das Chlor ist 35,5 mal so schwer als Wasserstoff). Endlich bilden sich bei der Zersetzung des Ammoniaks auf je drei Gewichtsteile Wasserstoff je 14 Gewichtsteile Stickstoff.

In gleicher Weise vereinigen sich stets je zwei Gewichtsteile Wasserstoff mit je 16 Gewichtsteilen Sauerstoff zu Wasser, je ein Gewichtsteil Wasserstoff mit je 35,5 Gewichtsteilen Chlor zu Salzsäure ꝛc.

Die Gewichtsmenge Wasser, welche man aus zwei Gewichtsteilen Wasserstoff und 16 Gewichtsteilen Sauerstoff erhält, beträgt genau 18 Gewichtsteile, ebenso die Gewichtsmenge Salzsäure, die aus je einem Gewichtsteil Wasserstoff und 35,5 Gewichtsteilen Chlor entsteht, genau 36,5 Gewichtsteile. Bei allen zusammengesetzten Stoffen hat man in derselben Weise gefunden, daß die Gewichtsmenge des aus seinen elementaren Bestandteilen zusammengesetzten Stoffes stets gleich ist der Summe aller Gewichtsmengen der an seiner Bildung teilnehmenden Bestandteile, ebenso wie die Summe der Gewichtsmengen aller aus einem

zusammengesetzten Stoffe gewonnenen Bestandteile stets gleich ist der Gewichtsmenge des zerlegten Stoffes. So selbstverständlich diese Thatsache für den ersten Augenblick erscheint, so wichtig ist sie für unsere Naturerkenntnis geworden, denn sie zeigt uns, daß bei allen Veränderungen, welche der Stoff erleidet, die Masse desselben weder verringert noch vermehrt wird, daß der Stoff in der Gesamtheit seiner Masse stets sich gleich bleibt, daß nur die Form desselben wechselt. Wir könnten diese Thatsache etwa bezeichnen als das Gesetz von der Erhaltung des Stoffs. Es folgt daraus, daß der Stoff als solcher unvergänglich ist.

Einen noch klareren Einblick in das Wesen chemischer Vorgänge gewinnen wir, wenn wir das Verhältnis zwischen dem Raum, den eine gasförmige Verbindung einnimmt und dem Raum, welchen die Bestandteile im Gaszustande inne haben, miteinander vergleichen. Ein Raumteil (oder 1 Gewichtsteil) Wasserstoff vereinigt sich mit einem Raumteil (oder 35,5 Gewichtsteilen) Chlorgas zu 36,5 Gewichtsteilen Salzsäuregas. Diese Menge Salzsäuregas erfüllt unter den gleichen Bedingungen gemessen, wie ihre Bestandteile, genau zwei Raumteile. Es findet demnach durchaus keine Änderung in der Raumerfüllung statt, wenn das Gemenge von Chlor und Wasserstoff zu Salzsäure sich vereinigt. Zwei Raumteile Salzsäuregas wiegen 36,5 mal so viel wie ein Raumteil Wasserstoff, oder das Salzsäuregas wiegt 18,25 mal so viel als sein gleiches Volum Wasserstoff.

Wenn dagegen zwei Raumteile (d. h. zwei Gewichtsteile) Wasserstoff mit einem Raumteil (d. h. 16 Gewichtsteilen) Sauerstoff zu Wasser sich vereinigen, so erfüllt das aus den drei Volumen des Gemisches entstehende Wasser als Gas den Raum von zwei Volumen, es findet durch Vereinigung beider Gase eine Kontraktion statt. Da demnach die 18 Gewichtsteile Wasser als Dampf nur zwei Volumina erfüllen, so ist das Wassergas

9 mal so schwer als sein gleiches Volum Wasserstoff, beide unter demselben Druck und bei der gleichen Temperatur gemessen.

Ferner sind wir zwar nicht imstande, aus Wasserstoff und Stickstoff Ammoniak zu erzeugen, aber es gelingt leicht, das gasförmige Ammoniak durch anhaltendes Hindurchschlagenlassen des elektrischen Funkens vollständig zu zersetzen. Dabei zeigt sich, daß das Volumen des Ammoniakgases nach der völligen Zersetzung gerade auf das Doppelte gestiegen ist. Das so entstandene Gas aber ist, wie wir bereits wissen, ein Gemisch von je einem Volumen Stickstoff mit drei Volumen Wasserstoff, und diese vier Volumina des Gasgemisches sind aus zwei Volumina Ammoniak entstanden. Also auch hier ist das Volumen der Verbindung gleich zwei gewesen, obwohl die Summe der Volumina ihrer Bestandteile vier betragen hatte.

Daraus erkennen wir, daß bei gasförmigen elementaren Körpern, welche zu einer Verbindung sich vereinigen, die Raummengen zwar in einem einfachen und konstanten Verhältnisse zu einander stehen, daß aber bei den verschiedenen Stoffen die Verhältnisse verschieden sein können, da bei Wasserstoff und Chlor das Raumverhältnis wie 1 : 1, bei Wasserstoff und Sauerstoff wie 2 : 1, bei Wasserstoff und Stickstoff wie 3 : 1 ist. Dagegen erkennen wir in gleicher Weise, daß in allen drei Beispielen die Raummengen der entstandenen Verbindungen, des Salzsäuregases, des Wasserdampfs, des Ammoniakgases, gleich groß sind, nämlich doppelt so groß, als die Menge des Chlors, Sauerstoffs, Stickstoffs.

Andererseits haben wir oben S. 43 erfahren, daß bei gasförmigen Stoffen in gleich großen Räumen gleich viel Molekeln enthalten sind, folglich entstehen aus einem Volumen Chlor und einem Volumen Wasserstoff ebenso viel Molekeln Salzsäure, wie aus einem Volumen Sauerstoff und zwei Volumen Wasserstoff und endlich wie aus einem Volumen Stickstoff und drei Volumen Wasserstoff. Wenn wir nun annehmen, in jeder Molekel Salzsäure sei ein Gewichtsteil Wasserstoff enthalten, so

folgt daraus, daß auch in jeder Molekel 35,5 Gewichtsteile Chlor enthalten sein müssen, ebenso daß in jeder Molekel Wasser zwei Gewichtsteile Wasserstoff und 16 Gewichtsteile Sauerstoff, in jeder Molekel Ammoniak, drei Gewichtsteile Wasserstoff und 14 Gewichtsteile Stickstoff enthalten sind. Ferner folgt aus der Annahme, jede Molekel Salzsäure enthalte einen Gewichtsteil Wasserstoff, noch der wichtige Satz: jede Molekel Salzsäure erfüllt zwei Volumina, und da bei gasförmigen Stoffen in gleichen Räumen gleich viele Molekeln vorhanden sind:

> Die Molekeln aller Stoffe erfüllen im gasförmigen Zustande zwei Volumina, wenn ein Volumen Wasserstoff als Gewichtseinheit genommen wird.

Wie groß oder wie klein die Gewichtseinheit und damit das Volumen für Wasserstoff angenommen wird, ist völlig gleichgiltig, da es sich lediglich um relative Gewichtsmengen zwischen Wasserstoff und den anderen Körpern handelt.

Wie gesagt, sind in jeder Salzsäuremolekel 35,5 Gewichtsteile Chlor enthalten. Man kennt aber eine außerordentlich große Zahl von Stoffen, welche neben den verschiedensten anderen Stoffen Chlor als Bestandteile besitzen, und man hat in diesen Verbindungen, nachdem man sie in den gasförmigen Zustand übergeführt hat, die Menge des Chlors in je zwei Raumteilen, d. h. also in der gleichen Zahl von Molekeln, bestimmt. Dabei hat sich denn herausgestellt, daß in all den untersuchten Verbindungen (auf zwei Volumina) entweder 35,5 oder 71, d. h. 2 mal 35,5, oder 106,5, d. h. 3 mal 35,5 Gewichtsteile Chlor ꝛc., also allgemein gefaßt, daß in diesen Verbindungen stets entweder 35,5 oder ein Vielfaches von 35,5 Gewichtsteilen Chlor vorhanden ist. Da war es denn ganz natürlich, daß man zu dem Schluß geführt wurde, 35,5 Gewichtsteile seien die kleinste Menge Chlor, welche in einer Verbindung überhaupt vorkommen könne.

In gleicher Weise kennt man Tausende von Verbindungen,

welche neben anderen Elementen Sauerstoff enthalten. Aber alle diese Verbindungen, soweit man sie im gasförmigen Zustand untersucht hat, enthalten in je zwei Volumina stets entweder 16, oder 32, oder 48 ꝛc. Gewichtsteile Sauerstoff, also entweder 16 Gewichtsteile oder ein Vielfaches dieser Menge. Folglich werden wir zu dem Schluß genötigt, 16 Gewichtsteile Sauerstoff sind die kleinste und unteilbare Menge, welche in irgend einer Verbindung enthalten sein kann.

Daraus hat sich die Anschauung herausgebildet, daß die Molekeln aus kleinen elementaren Massenteilchen bestehen, die ein ganz bestimmtes unabänderliches Gewicht besitzen, deren Gestalt uns zwar ebenso unbekannt ist, wie die der Molekeln, deren Gewicht wir aber im Verhältnis zu einander feststellen können. Diese elementaren Massenteilchen hat man Atome genannt.

Das Gewicht eines Atoms Wasserstoffs nehmen wir als Einheit an. Da nun in der Salzsäuremolekel auf einen Gewichtsteil Wasserstoff, oder was dasselbe ist, ein Atom Wasserstoff, 35,5 Gewichtsteile Chlor enthalten sind, da wir ferner sehen, daß sämtliche Stoffe, welche Chlor als Bestandteil besitzen, stets 35,5 Gewichtsteile oder ein Vielfaches dieser Menge von dem Element enthalten, also 35,5 Gewichtsteile Chlor als unteilbares Ganze angesehen werden können, so werden wir auch 35,5 Gewichtsteile Chlor als ein Atom Chlor aufzufassen haben, d. h. zu der Annahme berechtigt sein, jedes Chloratom wiegt 35,5 mal so viel, als ein Atom Wasserstoff.

Durch die gleiche Schlußfolgerung gelangen wir inbezug auf den Sauerstoff zu der Annahme, daß ein jedes Atom desselben das Gewicht 16 besitze, d. h. 16 mal so schwer sei, als ein Wasserstoffatom.

In derselben Weise hat man ferner gefunden, daß ein jedes Atom Stickstoff, d. h. die kleinste, unteilbare Menge dieses Elements, welche in irgend einer Verbindung desselben enthalten sein kann, 14 mal so viel wiegt, als ein Atom Wasserstoff.

Wir drücken aber diese Verhältnisse einfacher in der Weise aus, daß wir sagen, das Atomgewicht oder auch das Verbindungsgewicht des Wasserstoffs ist gleich Eins, das des Chlors gleich 35,5, das des Sauerstoffs gleich 16, das des Stickstoffs gleich 14.

Diese neue Anschauungsweise auf unsere drei Beispiele angewendet, läßt die vorher besprochenen Verbindungsverhältnisse der vier Elemente, Wasserstoff, Chlor, Sauerstoff und Stickstoff in der Salzsäure, im Wasser und im Ammoniak kürzer so ausdrücken:

> Jede Salzsäuremolekel besteht aus einem Atom Wasserstoff und einem Atom Chlor, jede Wassermolekel aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff, jede Ammoniakmolekel aus drei Atomen Wasserstoff und einem Atom Stickstoff.

Ehe wir jedoch die Konsequenzen dieser Schlußfolgerungen besprechen, müssen wir uns erst klar machen, wie wir das Gewicht einer Molekel bestimmen können, natürlich stets im Verhältnis zu Wasserstoff. Wir haben soeben angenommen, daß wir ein beliebiges Volumen Wasserstoff als Gewichtseinheit annehmen wollen, andererseits wollen wir auch das Verbindungsgewicht des Wasserstoffs gleich Eins setzen, es wird demnach ein beliebig kleines Volumen Wasserstoff ein Atom Wasserstoff sein müssen. Andererseits liefert ein solches Wasserstoffvolumen (oder Atom) mit seinem gleichen Volumen Chlor verbunden zwei Volumina Salzsäure, und da in jeder Molekel irgend einer Verbindung wenigstens ein Atom von jedem elementaren Bestandteil vorhanden sein muß, so muß folgerichtig die Molekel Salzsäure einen doppelt so großen Raum erfüllen wie das Atom Wasserstoff, jede Salzsäuremolekel muß zwei Volumina einnehmen, wenn ein Wasserstoffatom ein Volumen erfüllt. Da ferner bei gasförmigen Stoffen in gleich großen Räumen gleich viel Molekeln vorhanden sind, so müssen bei allen Gasen die

Molekeln je zwei Volumina erfüllen. Wir haben daher nur nötig, das Gewicht irgend eines Volumens einer beliebigen in dem Gaszustand befindlichen Substanz zu bestimmen, dieses Gewicht mit dem eines gleich großen Volumens Wasserstoff zu vergleichen und die gefundene Zahl zu verdoppeln, um das Molekulargewicht der betreffenden Substanz zu finden. So z. B. wiegt ein Liter Salzsäuregas bei 0° C und unter dem Druck, wie er auf der Oberfläche der Erde herrscht, also unter dem Druck einer Queckſilberſäule von 760 mm 1,6350 Gramm, ein Liter Wasserstoff wiegt unter denselben Bedingungen 0,0896 Gramm, die Salzsäure wiegt demnach 18,25 mal so viel wie Wasserstoff. Letztere Zahl verdoppelt giebt 36,5, eine Zahl, welche in der That dem Molekulargewicht der Salzsäure entspricht. Ein Liter Wasserdampf wiegt bei 100° C und unter dem Druck von 500 Millimeter Queckſilberſäule 0,3362 gr, ein Liter Wasserstoff unter denſelben Bedingungen nur 0,03735 gr, folglich ist der Wasserdampf 9 mal so schwer als der Wasserstoff, sein Molekulargewicht demnach $2 \times 9 = 18$.

Mit Hilfe der von Avogadro zuerst aufgestellten Hypotheſe, daß bei Gasen in gleich großen Räumen gleich viel Molekeln vorhanden sind, vermögen wir demnach die Atomgewichte einer großen Zahl von Elementen zu bestimmen, vorausgesetzt, daß eine genügend große Zahl von gasförmigen Verbindungen des betreffenden Elements bekannt sind. Das beste Beispiel hierfür liefert die Kohle, oder vielmehr, wie sie in reinem Zustande vom Chemiker genannt wird, der Kohlenstoff.

Bei Luftabschluß ist derselbe nämlich durch keine Hitze auch nur in den geschmolzenen Zustand überzuführen, geschweige denn in den gasförmigen. Aber Tausende von Verbindungen sind bekannt, die ihn als Bestandteil enthalten und entweder bei gewöhnlicher oder bei höherer Temperatur gasförmig sind. In all diesen Verbindungen sind in je zwei Volumina entweder 12, oder $24 = 2 \times 12$, oder $36 = 3 \times 12$, oder $48 = 4 \times 12$ Gewichtsteile Kohlenstoff enthalten. Wir können daher annehmen,

daß die kleinste Gewichtsmenge Kohlenstoff, die in irgend einer Verbindung enthalten sein kann, nicht weniger als 12 beträgt, mit anderen Worten, daß das Atom Kohlenstoff 12 mal so viel wiegt, wie das Atom Wasserstoff.

Eine weitere interessante Folgerung können wir mittels der Hypothese von Avogadro machen. Von der Voraussetzung ausgehend, daß ein Atom Wasserstoff das Gewicht 1 haben soll, haben wir das Atomgewicht des Sauerstoffs gleich 16, das des Stickstoffs gleich 14, das des Chlors gleich 35,5 gefunden, zugleich haben wir gesehen, daß je ein Volumen dieser vier Gase die erwähnten Gewichte besitzt. Nun aber haben wir andererseits gefunden, daß je eine Molekel zwei Volumina erfüllt, folglich muß jede Molekel Wasserstoff aus je zwei Atomen Wasserstoff, jede Molekel Sauerstoff aus je zwei Atomen Sauerstoff, jede Molekel Stickstoff aus je zwei Atomen Stickstoff, endlich jede Molekel Chlor aus je zwei Atomen Chor bestehen. Es bestehen demnach die Molekeln der erwähnten elementaren Stoffe aus je zwei untereinander verbundenen, aber miteinander identischen Atomen. Während in jeder Salzsäuremolekel je ein Atom Wasserstoff mit je einem Atom Chlor vereinigt ist, ist in jeder Chlormolekel ein Atom Chlor mit einem Atom Chlor, in jeder Wasserstoffmolekel je ein Atom Wasserstoff mit einem anderen Atom Wasserstoff verbunden. Wir sehen also, daß der Unterschied zwischen einfachen und zusammengesetzten Körpern lediglich darin besteht, daß bei den zusammengesetzten Körpern die miteinander zur Molekel vereinigten Atome voneinander verschieden sind, dagegen bei elementaren Stoffen die mit einander zur Molekel verbundenen Atome untereinander identisch sind. Wenn wir uns die Atome, um eine, wenn auch etwas grobe Anschauung von denselben zu erhalten, als kleine Kügelchen vorstellen, die wir zur besseren Charakterisierung mit einem Buchstaben versehen, so könnten wir jede Wasserstoffmolekel etwa durch folgendes Zeichen veranschaulichen: (H)(H), jede Chlormolekel durch (Cl)(Cl), wobei wir annehmen, daß das mit

H bezeichnete Kügelchen (Ⓗ) ein Atom Wasserstoff, das mit Cl bezeichnete (Ⓒl) ein Atom Chlor bedeuten soll, und alsdann ließe sich die Entstehung von Salzsäure aus Wasserstoff und Chlor durch folgendes Bild zur Anschauung bringen: ⒽⒽ und ⒸlⒸl geben ⒽⒸl und ⒽⒸl. Das heißt aber nichts anderes, als: Wenn unter geeigneten Bedingungen Wasserstoffmolekeln mit Chlormolekeln zusammentreffen, so lösen sich die Wasserstoffatome von den Wasserstoffatomen in den Wasserstoffmolekeln und in demselben Augenblick die Chloratome von den Chloratomen in den Chlormolekeln los, und je ein Wasserstoffatom lagert sich an je ein Chloratom an, um eine Salzsäuremolekel zu erzeugen. Oder mit anderen Worten: In den Wasserstoffmolekeln (H H) sind je zwei Wasserstoffatome mit einer gewissen Kraft, deren Größe wir freilich nicht kennen, untereinander verbunden, ebenso sind in jeder Chlormolekel je zwei Chloratome aneinander mit einer gewissen Kraft gebunden, treffen nun die Wasserstoffmolekeln mit den Chlormolekeln unter den geeigneten Bedingungen, z. B. im Sonnenlicht zusammen, so äußert sich die Anziehungskraft der Wasserstoffatome zu den Chloratomen. Diese Kraft ist aber größer, als die Anziehungskraft der Wasserstoffatome und der Chloratome untereinander, es findet demnach eine Umlagerung der Atome zu neuen Molekeln (Salzsäure) statt.

Genau in derselben Weise können wir die Entstehung von Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff lediglich als Umlagerung der Atome zu neuen Molekeln anschaulich machen. Bezeichnen wir ein Sauerstoffatom durch ein mit O bezeichnetes Kügelchen (Ⓞ), so ist jede Sauerstoffmolekel mit ⓄⓄ zu bezeichnen. Jede Wassermolekel besteht aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff, folglich haben wir: $\begin{matrix}\text{Ⓗ}\text{Ⓗ}\\ \text{Ⓗ}\text{Ⓗ}\end{matrix}$ und ⓄⓄ geben $\frac{\text{Ⓗ}}{\text{Ⓗ}}$Ⓞ und $\frac{\text{Ⓗ}}{\text{Ⓗ}}$Ⓞ. Das Zeichen $\frac{\text{Ⓗ}}{\text{Ⓗ}}$Ⓞ bedeutet eine Wassermolekel. Das gegebene Bild zeigt uns, daß unter

geeigneten Bedingungen die Wasserstoffatome von je zwei Wasserstoffmolekeln, ebenso in demselben Augenblick die Sauerstoffatome von je einer Sauerstoffmolekel sich losreißen, um im nächsten Augenblick sich so umgelagert zu haben, daß je zwei Wasserstoffatome mit je einem Sauerstoffatom je eine neue Molekel erzeugen.

So weit uns unsere Beispiele bis jetzt klar gemacht haben, sind chemische oder stoffliche Veränderungen solche, bei denen sich die Atome in den Molekeln voneinander trennen, um sofort zu neuen Molekeln sich zu gruppieren. Und eine derartige Umlagerung der Atome aus den miteinander zusammentreffenden Molekeln zu neuen Molekeln findet statt, wenn die Anziehungskräfte der Atome der verschiedenen Stoffmolekeln zu einander größer sind als die Anziehungskräfte der Atome in den vorhandenen Molekeln unter sich. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß die Anziehungskräfte der Atome, oder wie wir sie besser nennen können, die chemischen Anziehungskräfte, überhaupt nur zur Geltung kommen können, wenn die Molekeln der verschiedenen Stoffe sich bis auf unendlich kleine Entfernung nähern können. Es finden daher auch chemische Umsetzungen nur dann statt, wenn die Molekeln der verschiedenen Stoffe leicht beweglich sind. Denn wenn wir zwei feste Körper selbst als feinste Pulver miteinander mischen, sind die einzelnen Körnchen viel zu weit voneinander entfernt, als daß die chemischen Anziehungskräfte zur Wirksamkeit kommen könnten; nur bei flüssigen und gasförmigen Stoffen, die miteinander vermischt werden, kann eine chemische Umsetzung eintreten, wenn sonst die Bedingungen zu einer Atomumlagerung gegeben sind. Daher haben schon die alten Alchymisten den Satz aufgestellt: corpora non agunt nisi fluida, nur im flüssigen Zustande, sei es nun der tropfbar oder der luftförmig flüssige Zustand, wirken die Körper aufeinander ein. Die festen Stoffe können wir in den flüssigen Zustand überführen sowohl dadurch, daß wir sie durch Erhitzen zum Schmelzen bringen, als auch dadurch, daß wir sie in irgend

einer Flüssigkeit, die sich an der chemischen Umsetzung, an der chemischen Reaktion, gar nicht zu beteiligen braucht, auflösen. Die Flüssigkeit soll nur den Molekeln des festen Körpers die für die chemische Umsetzung notwendige leichte Beweglichkeit erteilen.

Als wesentlichste Ursache für das Eintreten einer chemischen Umlagerung haben wir die stärkere Anziehung der Atome der Molekeln des einen Stoffes zu den Atomen der Molekeln des anderen Stoffes als die Anziehung der Atome innerhalb der Molekeln untereinander erkannt. Es wird daher selbstverständlich sein, daß derartige chemische Umsetzungen nicht nur zwischen den Molekeln elementarer Stoffe, wie die Entstehung von Salzsäure aus Wasserstoff- und Chlormolekeln, von Wasser aus Wasserstoff- und Sauerstoffmolekeln zeigt, eintreten können, sondern auch zwischen den Molekeln eines elementaren und eines zusammengesetzten Stoffes, und ebenso zwischen den Molekeln zweier zusammengesetzter Stoffe. Und in der That finden die meisten chemischen Veränderungen auch in dieser Art statt. Das Kochsalz z. B. ist, wie wir oben S. 111 gesehen haben, eine Verbindung von Chlor mit dem silberweißen, sehr stark glänzenden Metall Natrium. Wirft man ein Stückchen dieses Metalls, das für technische Zwecke in großem Maßstabe dargestellt wird, auf Wasser, so bleibt es, weil es leichter als Wasser ist, auf der Oberfläche, schmilzt in kürzester Zeit, ballt sich zu einer Kugel zusammen und rollt mit außerordentlicher Geschwindigkeit hin und her, indem es immer kleiner und kleiner wird und schließlich völlig verschwindet. Wenn wir das Rotieren der Natriumkugel dadurch verhindern, daß wir statt reinen Wassers zähen Gummischleim anwenden, so fängt das Natrium nach kurzer Zeit an zu brennen und verbrennt mit gelber Flamme unter Verbreitung eines weißen Rauches. Was wird aus dem Natrium in dem einen oder anderen Falle, warum erhitzt sich das Metall, sobald es mit Wasser zusammentrifft, so stark, daß es schmilzt, sogar zu brennen beginnt? Wir erhalten darüber

leicht Aufschluß, wenn wir das Natrium, nachdem wir es auf Wasser geworfen haben, schnell mit einem siebartig durchlochten Löffel unter das Wasser drücken und eine mit Wasser gefüllte, oben geschlossene, unten offene Glasröhre darüber stülpen. Alsdann füllt sich schnell die Röhre, indem das Wasser immer tiefer sinkt, mit einem Gas an, das wir mit Leichtigkeit durch seine Brennbarkeit als Wasserstoff erkennen können. Sobald also das Natrium mit Wasser in Berührung kommt, wird Wasserstoff, selbstverständlich aus dem Wasser, durch das Metall erzeugt. Wenn wir darauf das Wasser verdampfen, so bleibt schließlich eine weiße feste Masse zurück, welche in hohem Maße laugenhaft schmeckt, sich fettig anfühlt, stark ätzend wirkt und welche als Ätznatron oder Seifenstein bekannt ist, wenn auch selbstverständlich der Seifenstein auf anderem Wege dargestellt wird. Das Ätznatron ist eine Verbindung von Natrium mit Sauerstoff und Wasserstoff, und jetzt verstehen wir den chemischen Vorgang, der beim Verschwinden des auf Wasser geworfenen Natriums unter Bildung von Wasserstoff stattfindet. Wenn wir wieder, wie es oben geschehen ist, die Wassermolekel uns vorstellen als ein aus drei Kügelchen bestehendes Konglomerat, von denen das eine Sauerstoff (Ⓞ), die beiden anderen Wasserstoff (Ⓗ) sind, die Natriummolekel als ein aus zwei Atomkügelchen bestehendes Konglomerat ⓃⓃ, so läßt sich der Vorgang in folgendem Bild veranschaulichen: Sobald ⓃⓃ, d. h. je eine Natriummolekel, mit $\overset{\text{Ⓗ}}{\text{Ⓗ}}\text{Ⓞ}\overset{\text{Ⓗ}}{\text{Ⓗ}}\text{Ⓞ}$, zwei Wassermolekeln, zusammentrifft, kommt die Anziehungskraft des Sauerstoffs zum Natrium, welche weit größer ist als die der Sauerstoffatome zu den Wasserstoffatomen und der Natriumatome unter sich, zur Geltung und es trennen sich für einen Augenblick die Natriumatome voneinander, ebenso je ein Wasserstoffatom von dem Sauerstoffatom in der Wassermolekel, und an die Stelle dieses sich losreißenden Wasserstoffatoms lagert sich das Natriumatom, während je zwei Wasserstoffatome sich zur Molekel vereinigen, so daß wir im nächsten

Moment vor uns haben (H)(H) je eine Wasserstoffmolekel und (Na)(H)(O)(Na)(H)(O) zwei Ätznatronmolekeln. Die Ätznatronmolekeln sind aber leicht in Wasser, welches in sehr großem Überschuß in unserem Versuch vorhanden ist, löslich und die Wasserstoffmolekeln gasförmig, so daß sie entweichen, daher sehen wir das auf Wasser geworfene Natrium allmählich, d. h. in demselben Maß, wie die Umsetzung vorschreitet, verschwinden.

Wenn wir ein Stück Eisen in Wasser werfen, so findet keine chemische Erscheinung statt, das Eisen sinkt im Wasser unter, ohne sich zunächst irgend weiter zu verändern. Aber wenn wir das Eisen in einer Porzellanröhre zum hellen Glühen erhitzen und durch die Röhre Wasserdampf hindurchströmen lassen, dann wird das Wasser durch das Eisen zersetzt, es entsteht Wasserstoffgas, welches man leicht an seiner Brennbarkeit erkennt, und der Sauerstoff des Wassers verbindet sich mit dem Eisen zu einer schwarzen festen Masse. Während demnach das Natrium imstande ist, schon bei gewöhnlicher Temperatur das Wasser zu zerlegen, den Wasserstoff vom Sauerstoff sich losreißen zu lassen, um sich an dessen Stelle in der Wassermolekel zu lagern, erlangt das Eisen erst in der Glühhitze diese Fähigkeit, wird erst in hoher Temperatur die Anziehungskraft des Eisens zum Sauerstoff so groß, daß sie die Anziehung des Wasserstoffs zum Sauerstoff zu überwinden vermag.

Wenn wir jedoch ein Stück Eisen in eine wässerige Salzsäurelösung hineinlegen, so entsteht augenblicklich ein ziemlich starkes Moussieren der Flüssigkeit, es entwickelt sich in reichlicher Menge ein Gas, welches wir wiederum durch seine leichte Entzündlichkeit als Wasserstoff erkennen, während das Eisen allmählich in der Flüssigkeit verschwindet, diese hellgrün färbend. Wir werden mit Leichtigkeit jetzt verstehen, daß das Eisen sich mit dem Chlor der Salzsäure vereinigt, und diese Verbindung von Eisen mit Chlor werden wir als in der Flüssigkeit vorhanden annehmen müssen. Und in der That bleibt, wenn wir

nach dem Verschwinden des Eisens die Flüssigkeit verdampfen, eine hellgrüne Masse zurück, welche eine chemische Verbindung von Chlor und Eisen ist. Wir haben kaum nöthig, diese chemischen Vorgänge noch durch ein Bild anschaulich zu machen.

Ferner entsteht sehr starke Erhitzung, die sich bis zum Kochen steigert, wenn wir in eine Auflösung des Ätznatrons oder Seifensteins eine wässerige Salzsäurelösung hineingießen. Und wenn wir die sonst klar gebliebene Flüssigkeit verdampfen, so erhalten wir, vorausgesetzt, daß wir nicht zu viel und nicht zu wenig Salzsäure angewendet haben, weder Salzsäure wieder, noch auch Ätznatron. Dagegen scheiden sich schließlich, wenn das Wasser zum größten Teil verdampft ist, kleine Würfelchen ab, die wir leicht an ihrem Geschmack und an allen sonstigen Eigenschaften als Kochsalz erkennen können.

Welche Veränderung ist hier mit dem Ätznatron und mit der Salzsäure vorgegangen? So groß auch, wie wir oben gesehen haben, die Verwandtschaft des Natriums zum Sauerstoff ist, so ist doch die Anziehungskraft des Natriums zum Chlor noch größer, wenn wir uns daher die Form der Ätznatronmolekeln vergegenwärtigen $\overset{Na}{H}O$, und ebenso die der Salzsäuremolekeln HCl, so werden wir leicht verstehen, daß, sobald Ätznatronmolekeln mit Salzsäuremolekeln zusammentreffen, die Natriumatome von den Sauerstoffatomen in den Ätznatronmolekeln und zu gleicher Zeit die Wasserstoffatome von den Chloratomen in den Salzsäuremolekeln sich losreißen, um im nächsten Augenblick in der Weise sich umzulagern, daß die Natriumatome an die Chloratome, die Wasserstoffatome an die Sauerstoffatome treten, so daß wir statt $\overset{Na}{H}O$ und HCl jetzt in der Flüssigkeit haben $\overset{H}{H}O$ und $NaCl$, das heißt lediglich Wassermolekeln und Chlornatriummolekeln. Letztere aber sind nichts anderes als unser gewöhnliches Kochsalz. —

Ehe wir jedoch in der weiteren Besprechung unserer Anschauungen über chemische Veränderungen fortfahren, wollen wir erst ein Kapitel berühren, welches auf den Nichtchemiker bei oberflächlicher Betrachtung wegen seiner scheinbaren Schwierigkeit abschreckend wirkt und doch zu den einfachsten, klarsten und am leichtesten verständlichen der Chemie gehört, nämlich die chemische Zeichensprache oder vielmehr die chemische Stenographie. Sobald man nämlich erkannt hatte, daß alle zusammengesetzten Stoffe eine konstante Zusammensetzung besitzen, d. h. daß die Bestandteile irgend einer Verbindung stets in denselben Mengenverhältnissen in der Verbindung enthalten sind, so z. B. daß die Salzsäure stets auf je einen Gewichtsteil Wasserstoff 35.5 Gewichtsteile Chlor enthält, das Wasser auf je 2 Gewichtsteile Wasserstoff 16 Gewichtsteile Sauerstoff ꝛc., und man zur Annahme von kleinsten unteilbaren Stoffpartikeln, von Atomen, genötigt worden war, fühlte man auch das Bedürfnis, dieser Thatsache durch die Schrift präzisen Ausdruck zu geben, und so ist die chemische Kurzschrift entstanden, welche in so einfacher und klarer Weise alle chemischen Vorgänge veranschaulicht, daß man die chemische Kurzschrift ohne Bedenken als eine der besten und elegantesten, die je für irgend einen Zweck benutzt worden sind, bezeichnen kann. Man hat nämlich jedes Element mit dem Anfangsbuchstaben seines Namens bezeichnet, aber mit der Einschränkung, daß der Buchstabe stets diejenige Menge eines Elements bedeuten soll, welche als kleinste Menge in Verbindungen vorkommt, oder mit anderen Worten, diejenige Menge, welche dem Atom des betreffenden Elements entspricht. Für uns Deutsche kompliziert sich freilich diese Bezeichnungsweise etwas dadurch, daß wir dieselben Buchstaben zur Bezeichnung der Elemente verwenden, wie die anderen Nationen, so daß nicht von den deutschen Namen der Elemente, sondern von den internationalen Namen die Anfangsbuchstaben benutzt werden.

Ferner müssen wir berücksichtigen, daß man jetzt einige Sie-

benzig unzerlegbare Stoffe kennt, daß demnach fast stets eine größere Zahl von Namen der Elemente mit denselben Buchstaben beginnen. Daher hat man den Anfangsbuchstaben für sich allein nur für das wichtigste der denselben Anfangsbuchstaben tragenden Elemente benutzt, während für die anderen außer dem Anfangsbuchstaben des das Element bezeichnenden Wortes noch ein zweiter, gewöhnlich, aber nicht immer, der zweite, zur Bezeichnung des Elements gebraucht wird. So z. B. ist das Zeichen für Eisen Fe, abgeleitet von dem lateinischen Wort Ferrum, für Silber dagegen Ag, vom lateinischen Argentum hergenommen, aber nicht Ar. So haben auch die wichtigsten Elemente, deren deutsche Namen sofort als Übersetzung der internationalen Namen zu erkennen sind, Zeichen, die zu dem deutschen Wort in keiner Beziehung stehen.

Der Name Wasserstoff ist eine Übersetzung des Wortes Hydrogenium, zu deutsch der aus Wasser erzeugte oder auch der das Wasser erzeugende Stoff, darum bezeichnet man auch den Wasserstoff mit dem Buchstaben **H.** Der Sauerstoff heißt eigentlich Oxygenium (zu Deutsch: der die Säuren erzeugende Stoff), darum besitzt der Sauerstoff bei allen Völkern das Zeichen **O.** Der Name Stickstoff ist die Übersetzung des von Lavoisier zur Bezeichnung des Gases gebildeten Wortes Azote, d. h. der das Leben vernichtende, den Tod der Erstickung herbeiführende Stoff, und man benutzt in Frankreich noch heute für denselben das chemische Zeichen Az. Allein weit mehr hat sich für Stickstoff ein anderer internationaler Name Eingang verschafft, nämlich Nitrogenium, d. h. der aus Salpeter (Nitrum) erzeugte Stoff und man benutzt daher für den Stickstoff das Zeichen **N.** Alle anderen Elemente bieten nun keine Schwierigkeit mehr. So bezeichnet man das Chlor mit den Buchstaben Cl, das Jod mit dem Buchstaben J, den Schwefel (Sulfur) mit dem Buchstaben S, den Phosphor mit dem Buchstaben P, den Kohlenstoff (Carbo) mit dem Buchstaben C, das Natrium mit dem Doppelbuchstaben Na u. s. f. Aber wie bereits erwähnt,

bedeuten diese nicht beliebige Mengen des betreffenden Elements, sondern stets diejenige Menge, mit welcher das Element in seine Verbindungen eintritt. So bedeutet das chemische Zeichen **H** stets einen Gewichtsteil Wasserstoff, das Zeichen **O** stets 16 Gewichtsteile Sauerstoff, das Zeichen **N** stets 14 Gewichtsteile Stickstoff, das Zeichen **Cl** stets 35.5 Gewichtsteile Chlor, das Zeichen **Na** stets 23 Gewichtsteile Natrium, das Zeichen **C** stets 12 Gewichtsteile Kohlenstoff u. s. f.

Die Wichtigkeit dieser Kurzschrift tritt erst hervor in der Bezeichnungsweise der Verbindungen. Wir wissen bereits, daß die Salzsäure z. B. aus einem Gewichtsteile Wasserstoff und 35.5 Gewichtsteilen Chlor besteht, und wir schreiben daher das Zeichen für Salzsäure H Cl, d. h. wir stellen die die beiden Elemente bedeutenden Buchstaben ohne weiteres neben einander. Das Symbol H Cl zeigt uns an, daß wir zunächst eine Verbindung, nicht einen einfachen Stoff vor uns haben, daß diese Verbindung aus Wasserstoff und Chlor besteht, und daß in ihr auf je einen Gewichtsteil Wasserstoff 35.5 Gewichtsteile Chlor enthalten sind. So schreiben wir Kochsalz Na Cl und erkennen daraus, daß das Kochsalz eine Verbindung des Metalls Natrium mit Chlor ist, und daß in ihm je 23 Gewichtsteile Natrium mit je 35.5 Gewichtsteilen Chlor verbunden sind.

Ferner ist das chemische Zeichen für Ätznatron Na H O, das heißt, es besteht das Ätznatron aus drei Elementen, aus dem Metall Natrium, aus Wasserstoff und aus Sauerstoff, und zwar sind in ihm auf je 23 Gewichtsteile Natrium ein Gewichtsteil Wasserstoff und 16 Gewichtsteile Sauerstoff enthalten.

Dagegen schreibt man diejenigen Verbindungen, in denen ein oder mehrere Elemente zu mehr als einem Atom vorhanden sind, wie z. B. das Wasser, welches wie wir wissen in jeder Molekel auf ein Atom Sauerstoff zwei Atome Wasserstoff enthält, in der Weise, daß wir die Anzahl der Atome des betreffenden Elements durch eine kleine Ziffer hinter dem das Element bezeichnenden Buchstaben, entweder unter oder über der Linie,

angeben. Das chemische Symbol für Wasser ist H_2O oder H^2O, das heißt in jeder Wassermolekel sind zwei Atome oder zwei Gewichtsteile Wasserstoff (H_2 oder H^2) auf ein Atom oder sechszehn Gewichtsteile Sauerstoff enthalten. Freilich können wir das Symbol für Wasser auch HHO schreiben, allein es würde namentlich bei den komplizierter zusammengesetzten Verbindungen die Schreibweise nach dieser Methode ihre Einfachheit und damit ihre Übersichtlichkeit einbüßen.

Schon zur Bezeichnung des Ammoniaks, welches wie wir wissen aus 3 Gewichtsteilen Wasserstoff und 14 Gewichtsteilen Stickstoff besteht (14 Gewichtsteile Stickstoff drücken wir durch das Zeichen N aus), würde diese letztere Schreibweise, nämlich HHHN, umständlich werden, weit kürzer und ebenso verständlich bezeichnen wir daher das Ammoniak durch das Symbol H_3N oder H^3N.

Wir werden nach dem Vorangegangenen mit Leichtigkeit das Symbol, die Formel C_2H_6O verstehen. Dieselbe bezeichnet eine Verbindung, deren Bestandteile Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) sind, und zwar sind in jeder Molekel derselben enthalten 2×12 oder 24 Gewichtsteile Kohlenstoff (denn nach dem Obigen bedeutet C je 12 Gewichtsteile Kohlenstoff), 6 Gewichtsteile Wasserstoff und 16 Gewichtsteile Sauerstoff. Es ist diese Verbindung nichts anderes als der gewöhnliche Alkohol oder der wasserfreie Spiritus.

Aus dem bisher Mitgeteilten ist zu ersehen, wie wichtig für die Erkennung und das Verständnis der Verbindungen es ist, nicht nur die elementaren Bestandteile zu erforschen, sondern gerade die Atomgröße, das Atomgewicht der Elemente zu kennen, also diejenige Gewichtsmenge, welche als unteilbare in irgend einer Verbindung des betreffenden Elements wenigstens enthalten sein muß. Diese Atomgröße finden wir leicht, wenn von dem betreffenden Element eine große Zahl von Verbindungen bekannt ist, die entweder bei gewöhnlicher Temperatur gasförmig sind oder durch Erhitzen in den gasförmigen Zustand übergeführt

werden können. Wir haben alsdann nur nötig, das Molekulargewicht dieser Verbindungen zu bestimmen, indem wir untersuchen, wie groß das Gewicht derselben im Gaszustande verglichen mit dem Gewicht von Wasserstoff bei derselben Temperatur und unter demselben Druck ist, und zu berechnen, wie viel Gewichtsteile des Elements, dessen Atomgewicht wir bestimmen wollen, in der je eine Molekel, d. h. dem doppelten Volumen, repräsentirenden Gewichtsmenge all dieser Verbindungen enthalten sind. Man findet alsdann mit Leichtigkeit diejenige Gewichtsmenge, welche entweder als solche oder zweimal, dreimal ꝛc. in den Verbindungen vorkommt. Je größer die Zahl der gasförmigen Verbindungen ist, welche das betreffende Element bildet, mit desto größerer Sicherheit läßt sich das Atomgewicht des Elements ableiten.

Allein von den 74 uns bis jetzt bekannten Elementen giebt es eine erhebliche Zahl, von denen keine einzige Verbindung existiert, welche in den Gaszustand übergeführt werden kann. Wir würden bei diesen Elementen über ihre Atomgröße vollkommen im Ungewissen sein, wenn nicht eine andere Methode aufgefunden worden wäre, welche uns gestattet, das Atomgewicht derselben mit Sicherheit zu bestimmen. Und gerade die wichtigsten Metalle, wie Kupfer, Nickel, Silber, Gold, Platin, sind derartige Elemente. Von diesen Metallen sind z. B. Sauerstoffverbindungen bekannt, und zwar sind mit je 16 Gewichtsteilen Sauerstoff, entsprechend einem Atom Sauerstoff, verbunden je 63.5 Gewichtsteile Kupfer, je 59 Gewichtsteile Nickel, je 216 Gewichtsteile Silber, je 131,3 Gewichtsteile Gold und je 97 Gewichtsteile Platin. Bedeuten diese Gewichtsmengen auch die Atomgewichte der erwähnten fünf Metalle, so daß mit je einem Sauerstoffatom je ein Atom des betreffenden Metalls verbunden ist, oder sind die Atomgewichte derselben nur halb so groß, wie die obigen Zahlen angeben, so daß mit je einem Sauerstoffatom je zwei Atome eines jeden der fünf Metalle vereinigt sind, oder sind die Atomgewichte der Metalle doppelt so groß, wie die er-

wähnten Zahlen, so daß mit jedem Metallatom zwei Sauerstoffatome verbunden sind, oder endlich ist je ein Atom des einen Metalls mit je einem Sauerstoffatom, je ein Atom eines anderen Metalls mit je zwei Sauerstoffatomen ꝛc. vereinigt? Wir haben aus den bisher erwähnten Thatsachen nicht den geringsten Anhaltspunkt zur Entscheidung dieser Fragen gewonnen. Zum besseren Verständnis wollen wir ein Metall, etwa das Kupfer herausgreifen. Da mit 16 Gewichtsteilen Sauerstoff 63.5 Gewichtsteile Kupfer in der Kupfersauerstoffverbindung vereinigt sind, so würden, falls nicht 63.5, sondern vielleicht die Hälfte davon (31.75) das Gewicht eines Kupferatoms ausdrücken sollte, zwei solcher Atome ($2 \times 31.75 = 63.5$) mit einem Atom Sauerstoff verbunden sein, und falls das doppelte Gewicht (127) das „unteilbare" Atomgewicht des Kupfers sein sollte, je ein derartiges Atom auch mit 2×16, mit zwei Atomen Sauerstoff vereinigt sein u. s. f.

Wir besitzen nun ein vorzügliches Hilfsmittel, die Atomgröße dieser Elemente zu finden. Ein jeder Körper braucht, um erwärmt zu werden, eine bestimmte Menge Wärme, die ihm von außen zugeführt werden muß. Wollen wir z. B. ein Stück Kupfer von 0^0 auf 10^0 erwärmen, so müssen wir ihm eine Wärmemenge zuführen, die zehnmal so groß ist als diejenige, die dasselbe Stück Kupfer von 0^0 auf 1^0 zu erwärmen im stande ist. Aber die Menge Wärme, welche ein Pfund Kupfer um 10^0 in seiner Temperatur zu erhöhen vermag, würde nicht auch ein Pfund Blei oder ein Pfund Silber oder ein Pfund Eisen um 10^0 erwärmen, sondern wir bedürfen einer ganz anderen Menge Wärme, um das Pfund Blei, wieder einer anderen, um das Pfund Silber u. s. f. zu erwärmen. Man hat nun von einer sehr großen Zahl von Stoffen die Wärmemenge bestimmt, welche zu deren Erhitzung (meist von ca 10^0 bis 100^0) notwendig ist und diese Wärmemenge verglichen mit der zur Erhitzung einer gleich großen Quantität Wasser verbrauchten Wärmemenge, und bezeichnete die gefundene Wärmemenge als die *specifische Wärme* der

Stoffe. Die einfachste Methode, deren man sich zu diesem Zwecke bediente, war die, daß man eine genau gewogene Quantität irgend eines Stoffes, z. B. von Eisen, in einem Raum auf 100° erhitzte und dann in ein Gefäß mit Wasser fallen ließ. Die Menge und die Temperatur des Wassers waren selbstverständlich genau bestimmt. So wollen wir annehmen, daß man 200 g Eisen verwendet und diese, nachdem sie auf 100° erhitzt worden waren, in 600 g Wasser von 12° hineinfallen gelassen hätte. Durch das heiße Eisen wurde das Wasser bis 15,2° erwärmt, folglich hat das Eisen sich von 100° auf 15,2 abgekühlt, von seiner Wärme also 84,8° abgegeben, um die dreifache Quantität Wasser um 3,2° zu erwärmen. Es würde demnach das Eisen eine ihm gleiche Quantität Wasser um 3 mal 3,2°, also um 9,6° dadurch erwärmen, daß es sich um 84,8° abkühlt, oder was dasselbe ist: Diejenige Wärme welche verbraucht wird, um Wasser in seiner Temperatur um 9,6° zu erhöhen, vermag das gleiche Gewicht Eisen um 84,8° zu erwärmen. Bezeichnen wir die Wärmemenge, welche 1 kg Wasser um einen Grad zu erwärmen im stande ist, als **Wärmeeinheit**, so würde 1 kg Eisen $\frac{9{\cdot}6}{84{\cdot}8}$ Wärmeeinheiten oder „**Kalorien**" zu seiner Erwärmung um je 1° nötig haben; $\frac{9{\cdot}6}{84{\cdot}8}$ ist gleich 0,113. Das Eisen braucht demnach 0,113 Wärmeeinheiten. Diese Wärmemenge bezeichnet man als die **spezifische Wärme** des Eisens. So ist die spezifische Wärme der fünf oben als Beispiele angeführten Metalle: des Kupfers 0,09515, des Nickels 0,108, des Silbers 0,0570, des Goldes 0,0324, des Platins 0,03243, d. h. ein kg Wasser bedarf zu seiner Erwärmung um je einen Grad ebenso viel Wärme wie 10,51 kg Kupfer, 9,26 kg Nickel, 17,54 kg Silber, 30,82 kg Gold und 30,84 kg Platin.

Andererseits wurde die spezifische Wärme des Schwefels z. B. zu 0,188, die des Phosphors zu 0,202, und die des Arseniks zu 0,0814 gefunden. Von diesen drei Elementen sind zahlreiche gasförmige Verbindungen bekannt, so daß man ihre Atomgröße mit Leichtigkeit feststellen konnte. Das Atomgewicht

des Schwefels ist gleich 32, das des Phosphors gleich 31, das des Arseniks gleich 75. Wenn wir nun die vorher erwähnten Zahlen der spezifischen Wärmen dieser drei Elemente multiplizieren mit den Atomgewichten derselben, so erhalten wir merkwürdigerweise nahezu gleiche Zahlen:

	Atomgew.	spez. Wärme		
für Schwefel	32	× 0,188	=	6,016
für Phosphor	31	× 0,202	=	6,26
für Arsen	75	× 0,0814	=	6,105

Es ist demnach das Produkt aus dem Atomgewicht und der spezifischen Wärme eine konstante Größe. Das heißt aber nichts anderes als: 32 kg Schwefel bedürfen zu ihrer Erwärmung derselben Wärmemenge wie 31 kg Phosphor, oder wie 75 kg Arsenik, nämlich ungefähr 6,2 Wärmeeinheiten oder so viel, wie 6,2 kg Wasser zu ihrer Erwärmung um dieselbe Anzahl von Graden nötig haben. 32 kg Schwefel enthalten aber genau so viel Schwefelatome, wie 31 kg Phosphor Phosphoratome, wie 75 kg Arsenik Arsenikatome, es bedeutet also das von uns erwähnte Naturgesetz nichts anderes als: die gleiche Anzahl von Atomen aller Elemente bedarf derselben Wärmezufuhr, um um dieselbe Anzahl von Temperaturgraden erwärmt zu werden. Die Atomwärme der Elemente beträgt ca. 6,2.

Mit Hilfe dieses neuen von uns kennen gelernten Naturgesetzes sind wir im stande, die Atomgröße aller Elemente zu bestimmen, und wir wollen dasselbe gleich anwenden, um das Atomgewicht der oben beispielsweise benutzten fünf Metalle zu ermitteln.

Mit 16 Gewichtsteilen oder mit je einem Atom Sauerstoff sind verbunden:

1) 63,5 Gewichtsteile Kupfer, die spezifische Wärme des Metalls beträgt 0,09515, das Produkt beider ist 6.042. Man erkennt sogleich, daß dies die oben erwähnte constante Größe ist. Folglich sind 63.5 Gewichtsteile diejenige Menge Kupfer, welche je einem Atom des Metalls entspricht, das Atomgewicht des

Kupfers ist gleich 63.5. Das Zeichen für Kupfer (Cuprum) ist Cu. Mit dem Zeichen Cu werden wir daher stets 63.5 Gewichtsteile Kupfer ausdrücken, und die Verbindung von Kupfer mit Sauerstoff werden wir CuO schreiben müssen.

2) Mit 16 Gewichtsteilen Sauerstoff sind ferner verbunden 59 Gewichtsteile Nickel, die spezifische Wärme dieses Metalls beträgt 0.108, das Produkt beider ist 6.372. Auch hier erkennen wir sogleich, daß in der That je 59 Gewichtsteile einem Atom Nickel entsprechen, daß das Atomgewicht des Nickels, dessen Zeichen Ni ist, 59 beträgt, und daß die erwähnte Sauerstoffverbindung desselben aus je einem Atom Nickel auf je ein Atom Sauerstoff besteht und NiO geschrieben werden muß.

Mit je 16 Gewichtsteilen sind 3) verbunden je 216 Gewichtsteile Silber, die spezifische Wärme dieses Metalls beträgt 0.0570, das Produkt beider ist 12.312. Wir sehen sofort, daß diese Zahl doppelt so groß ist, als die constante Größe (ca. 6.2), d. h. daß diese Wärmemenge der von je zwei Atomen Silber erforderten entspricht, daß 216 Gewichtsteile nicht ein, sondern zwei Atome Silber repräsentieren, daß demnach die Hälfte von 216 oder 108 diejenige Gewichtsmenge ist, welche je einem Atom Silber zukommt. Folglich bedeutet das Zeichen für Silber (Argentum) Ag stets je 108 Gewichtsteile Silber und mit je 16 Gewichtsteilen oder einem Atom Sauerstoff sind in der Sauerstoffverbindung vereinigt je zwei Atome Silber, ($2 \times 108 = 216$) die Sauerstoffverbindung des Silbers muß also Ag_2O geschrieben werden.

Ferner sind 4) mit je 16 Gewichtsteilen Sauerstoff verbunden je 131,3 Gewichtsteile Gold. Die spezifische Wärme dieses Metalls ist ermittelt worden zu 0.03244, das Produkt beider Zahlen beträgt 4,26. Diese Zahl ist, wie auf den ersten Blick zu ersehen, zwei Drittel von der konstanten Größe (ca. 6,2), d. h. 131.3 Gewichtsteile Gold sind diejenige Menge, welche zwei Dritteilen eines Goldatoms entsprechen, jedes Atom Gold muß $\frac{3}{2} \times 131.3$ oder 196 mal so viel wiegen, wie jedes Atom Wasser-

stoff. Das Zeichen für Gold (Aurum) Au bedeutet demnach für uns je 196 Gewichtsteile. Da nun je 131.3 Gewichtsteile Gold mit je 16 Gewichtsteilen Sauerstoff verbunden sind, so sind 196 Gewichtsteile oder je ein Atom Gold vereinigt mit je 24 Gewichtsteilen, d. h. mit $\frac{3}{2}$ Atomen Sauerstoff. Atome sind aber, wie wir wissen, unteilbare Größen, in allen seinen Verbindungen müssen entweder 16 Gewichtsteile Sauerstoff oder 2×16, 3×16, 4×16 u. s. f. Gewichtsteile enthalten sein. Wir sind daher gezwungen, anzunehmen, daß eine jede Molekel der Goldsauerstoffverbindung wenigstens 48 (3×16) Gewichtsteile Sauerstoff enthält. Mit 48 (2×24) Gewichtsteilen Sauerstoff sind natürlich 2×196 Gewichtsteile Gold vereinigt, jede Molekel der Sauerstoffverbindung des Goldes besteht demnach mindestens aus 2 Atomen Gold und 3 Atomen Sauerstoff, sie muß Au_2O_3 geschrieben werden.

Endlich haben wir oben 5) erfahren, daß mit 16 Gewichtsteilen Sauerstoff 97 Gewichtsteile Platin vereinigt sind. Die spezifische Wärme des Platins beträgt, wie das Experiment gelehrt hat, 0.03243, das Produkt beider Zahlen ist 3,14. Diese Zahl ist wieder halb so groß, als die Atomwärme des Platins, verlangt, das Atomgewicht des Platins, dessen Zeichen Pt ist muß also doppelt so groß sein, muß $2 \times 97 = 194$ betragen. Je 194 Gewichtsteile Platin erfordern die Wärmemenge 6.28. Mit je 194 Gewichtsteilen Platin sind aber in der Sauerstoffverbindung dieses Metalls vereinigt je 2×16, je 32 Gewichtsteile Sauerstoff, wir werden also diese Platinsauerstoffverbindung zu schreiben haben PtO_2.

Beiläufig sei bemerkt, daß auch die spezifische Wärme von Verbindungen dasselbe Gesetz erkennen läßt. Als einfachstes Beispiel wollen wir das Wasser selbst anführen. Die spezifische Wärme des Wassers haben wir ja als Einheit angenommen. Jede Wassermolekel (H_2O) hat das Gewicht 18. 18 Gewichtsteile Wasser erfordern selbstverständlich 18 Wärmeeinheiten für jeden Grad der Erwärmung. In jeder Wassermolekel sind je-

doch 3 Atome enthalten (je zwei Wasserstoff- und ein Sauerstoffatom) folglich beträgt für jedes der drei Atome die erforderliche Wärmemenge 6 Wärmeeinheiten.

Mit Hilfe dieses Gesetzes hat man von allen Elementen die Atomgröße zu bestimmen vermocht.

Die bis jetzt bekannten Elemente sind, soweit sie bereits Namen erhalten haben, samt ihren chemischen Zeichen und ihren Atomgewichten in folgender Tabelle zusammengestellt.

	chem. Zeichen	Atomgew.
Aluminium	Al	27.3
Antimon (Stibium)	Sb	122
Arsen	As	75
Barium	Ba	137
Beryllium	Be	9.4
Blei (Plumbum)	Pb	207
Bor	Bo	11
Brom	Br	80
Cadmium	Cd	112
Cäsium	Cs	133
Calcium	Ca	40
Cerium	Ce	141.6
Chlor	Cl	35.5
Chrom	Cr	52
Didym	Di	145.4
Eisen (Ferrum)	Fe	56
Erbium	Er	166
Fluor	Fl	19
Gallium	Ga	69.8
Gold (Aurum)	Au	196
Indium	In	113.4
Jod	J	127
Iridium	Ir	192.7
Kalium	K	39
Kobalt (Cobaltum)	Co	59

	chem. Zeichen	Atomgew.
Kohlenſtoff (Carboneum)	C	12
Kupfer (Cuprum)	Cu	63.5
Lanthan	La	139
Lithium	Li	7
Magneſium	Mg	24
Mangan	Mn	55
Molybdän	Mo	92
Natrium	Na	23
Nickel	Ni	59
Niob	Nb	94
Osmium	Os	192
Palladium	Pd	106.6
Phosphor	P	31
Platin	Pt	194.5
Queckſiber (Hydrargyrum)	Hg	200
Rhodium	Rh	104.4
Rubidium	Rb	85.4
Ruthenium	Ru	104.4
Samarium	Sm	?
Sauerſtoff (Oxygenium)	O	16
Scandium	Sc	44
Schwefel (Sulfur)	S	32
Selen	Se	79
Silber (Argentum)	Ag	108
Silicium	Si	28
Stickſtoff (Nitrogenium)	N	14
Strontium	Sr	87.5
Tantal	Ta	182
Tellur	Te	126
Therbium	Tb	148
Thallium	Tl	204
Thorium	Th	231
Thulium	Tu	?

	chem. Zeichen	Atomgew.
Titan	Ti	48
Uran	U	240
Vanadin	Vd	51.5
Wasserstoff (Hydrogenium)	H	1
Wismuth (Bismuthum)	Bi	208
Wolfram	W	184
Ytterbium	Yb	173
Yttrium	Y	89.5
Zink	Zn	65
Zinn (Stannum)	Sn	118
Zirkonium	Zr	89.6

Von den hier angeführten 72 Elementen kommen einige, freilich meist in Verbindungen, allerorten und in überwältigender Menge vor, wie etwa der Wasserstoff und der Sauerstoff als Bestandteile des Wassers, aber ebenso das Kalium, Natrium, Calcium, Eisen ꝛc., andere jedoch kommen sowohl sehr selten als auch in so geringen Mengen als Verunreinigungen mancher Naturprodukte vor, daß sie erst in neuester Zeit durch die vervollkommneten Untersuchungsmethoden haben entdeckt werden können. Die wichtigeren Elemente sind durch gesperrten Druck hervorgehoben worden. —

Ebenso einfach und leicht verständlich wie die chemische Schreibweise der Verbindungen ist auch die chemische Bezeichnung der letzteren. Eine jede Verbindung, welche aus nur zwei verschiedenen Elementen besteht, benennt man in der Weise, daß man die Namen der beiden elementaren Bestandteile einfach neben einander setzt. So heißt z. B. die Salzsäure auch Chlorwasserstoff, das Kochsalz, welches aus Chlor und Natrium besteht, (NaCl) heißt Chlornatrium, eine Verbindung von Jod mit Kalium heißt Jodkalium (KJ), eine Verbindung von Eisen mit Schwefel heißt Schwefeleisen u. s. f. Nur die Sauerstoffverbindungen werden nach dem internationalen Namen des Sauerstoffs (Oxygenium) als Oxyde bezeichnet, also Kupferoxyd

Eisenoxyd, Quecksilberoxyd. Das Wasser würde demnach auch als Wasserstoffoxyd zu bezeichnen sein. Diese Art der Benennung würde jedoch für Verbindungen, welche aus drei und mehr Elementen bestehen, schleppend sein, sie wird daher nur in seltneren Fällen benutzt, meist hat man von einem ganz anderen Gesichtspunkte aus derartige Stoffe benannt. Vorausgeschickt sei hier nur, daß man, ebenso wie die Sauerstoffverbindungen mit dem Namen Oxyde belegt worden sind, auch alle Chlorverbindungen mit dem gemeinsamen Namen Chloride, alle Schwefelverbindungen mit dem Namen Sulfide ꝛc. zusammengefaßt hat, so daß man das Kochsalz auch als Natriumchlorid, das Jodkalium auch als Kaliumjodid, das Schwefeleisen auch als Eisensulfid bezeichnet hat. So hat man ferner eine Verbindung von Gold, Chlor und Natrium als Natriumgoldchlorid, von Platin, Chlor und Kalium als Kaliumplatinchlorid bezeichnet. Allein bei der weitaus überwiegenden Zahl von zusammengesetzten Stoffen ist, soweit diese Stoffe nicht bereits alte, mit ihrer Zusammensetzung in gar keinem Zusammenhang stehende Namen besaßen, wie Alaun, Vitriol, ein ganz anderes Prinzip zu Grunde gelegt worden, welches wir nun kennen lernen wollen.

Wir haben auf den vorhergehenden Seiten die Salzsäure zu erwähnen Gelegenheit gehabt, eine auch nach sehr großer Verdünnung mit Wasser noch stark sauer schmeckende Substanz. Allmählich hat man eine sehr große Zahl von Stoffen kennen gelernt, welche ebenso wie die Salzsäure stark sauer schmecken und eine Anzahl anderer Eigenschaften, die bald besprochen werden sollen, mit der Salzsäure teilen. So kennt man eine von der Salzsäure kaum zu unterscheidende Substanz, eine Verbindung des Elements Brom mit Wasserstoff (HBr), die gasförmig ist, an der Luft sehr starke Nebel bildet, stechend sauer riecht und schmeckt, sehr leicht in Wasser löslich ist, kurz alle die Eigenschaften besitzt, die wir an der Salzsäure kennen gelernt haben. Man nennt diese Verbindung Bromwasserstoffsäure. Noch zwei andere derartige, bei gewöhnlicher Temperatur gasförmige, an

der Luft ſtarke Nebel bildende, in Waſſer leicht lösliche Verbindungen kennt man, von denen die eine eine Verbindung von Waſſerſtoff mit dem Element Jod, die andere eine Verbindung von Waſſerſtoff mit dem Element Fluor iſt, und die man Jodwaſſerſtoffſäure, bez. Fluorwaſſerſtoffſäure nennt. Ferner iſt ſeit langer Zeit eine intenſiv ſauer ſchmeckende Flüſſigkeit bekannt, die in reinem Zuſtande eine nahezu geruchloſe ölige Flüſſigkeit darſtellt, die man früher aus dem Vitriol gewonnen und deshalb als Vitriolöl bezeichnet hat, während ſie jetzt aus dem Schwefel dargeſtellt wird und den Namen Schwefelſäure führt. Dieſelbe beſitzt eine ziemlich komplizierte Zuſammenſetzung und beſteht aus je 32 Gewichtsteilen (einem Atom) Schwefel, 2 Gewichtsteilen (2 Atomen) Waſſerſtoff und 64 Gewichtsteilen (4 Atomen) Sauerſtoff, ſo daß ihr chemiſches Zeichen H_2SO_4 iſt. Ferner hat man ſeit langer Zeit aus dem Salpeter eine ſehr ſauer ſchmeckende Flüſſigkeit gewonnen, welche ſchon im Mittelalter zur Trennung (Scheidung) von Silber und Gold von einander benutzt worden iſt, weil ſie das Silber, nicht aber das Gold aufzulöſen vermag, und welche deshalb von den Goldſchmieden den Namen Scheidewaſſer erhalten hat, während ſie jetzt allgemein als Salpeterſäure bezeichnet wird. Sie beſteht, beiläufig bemerkt, aus je einem Gewichtsteil Waſſerſtoff, 14 Gewichtsteilen (einem Atom) Stickſtoff und 48 Gewichtsteilen (3 Atomen) Sauerſtoff, ſo daß ihr chemiſches Zeichen HNO_3 iſt.

Ferner entſteht beim Verbrennen des Phosphors an feuchter Luft eine ſauerſchmeckende Flüſſigkeit, die in reinem Zuſtande feſt iſt, aber ſo ſehr leicht löslich in Waſſer und ſo begierig, ſich in Waſſer zu löſen, daß ſie aus der Luft Feuchtigkeit anzieht und zerfließt. Dieſe Verbindung beſteht, nebenbei bemerkt, aus je 31 Gewichtsteilen (einem Atom) Phosphor, 3 Gewichtsteilen (3 Atomen) Waſſerſtoff und 64 Gewichtsteilen (4 Atomen) Sauerſtoff, ſo daß ihr chemiſches Zeichen H_3PO_4 iſt. Sie heißt Phosphorſäure.

So kennt man außerdem eine fast unübersehbare Anzahl derartiger Verbindungen und hat sie unter dem gemeinschaftlichen Namen Säuren zusammengefaßt. Wie wir sehen, hat man bei diesen Stoffen nur dann das obige Prinzip der Benennung durch Aneinanderreihung der Namen der Bestandteile angewendet, wenn dieselben, wie die Bromwasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure, Fluorwasserstoffsäure aus lediglich zwei elementaren Bestandteilen zusammengesetzt sind, dagegen ohne Rücksicht auf ihre Zusammensetzung sie nach dem Stoff, aus dem sie gewonnen werden, wie Schwefelsäure, Salpetersäure, Phosphorsäure, benannt, wenn sie aus mehr als zwei Elementen bestehen.

Andererseits haben wir oben das Kochsalz als eine Verbindung des Chlors mit dem Metall Natrium kennen gelernt, welche aus je 35.5 Gewichtsteilen (1 Atom) Chlor und 23 Gewichtsteilen (1 Atom) Natrium besteht und darum durch das chemische Zeichen NaCl gekennzeichnet wird. Aber schon seit alter Zeit hat man eine sehr große Zahl von Stoffen kennen gelernt, welche dem Kochsalz sowohl durch ihr Aussehen wie durch ihren (salzigen) Geschmack sehr ähnlich waren, und man hat diese Stoffe deshalb mit dem gemeinschaftlichen Namen Salze belegt. Ein derartiges Salz ist z. B. der Salpeter, welcher aus je 39 Gewichtsteilen (1 Atom) des Metalls Kalium, 14 Gewichtsteilen (1 Atom) Stickstoff und 48 Gewichtsteilen (3 Atomen) Sauerstoff besteht, dessen Zusammensetzung wir demnach durch das Zeichen KNO_3 wiedergeben können. Auch die von dem berühmten Arzt Glauber (im Jahre 1658) in den Arzneischatz eingeführte und nach ihm Glaubersalz bezeichnete Substanz charakterisiert sich schon durch ihren Namen als Salz. Sie besteht aus je 46 Gewichtsteilen (2 Atomen) Natrium und 32 Gewichtsteilen (1 Atom) Schwefel und 64 Gewichtsteilen (4 Atomen) Sauerstoff, so daß ihr chemisches Zeichen Na_2SO_4 ist. Diese Salze lassen sich aber äußerst leicht aus den Säuren darstellen. Wir haben bereits S. 128 erfahren, daß beim Ver-

mischen einer wässerigen Salzsäurelösung mit einer eben solchen Ätznatronlösung eine starke Erwärmung der Flüssigkeit eintritt und sowohl der saure Geschmack der ersteren als auch der ätzende und laugenhafte Geschmack der zweiten Lösung völlig verschwindet und beim Verdampfen der Lösung lediglich Kochsalz zurückbleibt. Wir haben auch erfahren, in welcher Weise sich hierbei Kochsalz bildet. Das Ätznatron, eine Verbindung von 23 Gewichtsteilen (1 Atom) Natrium, 1 Gewichtsteil (1 Atom) Wasserstoff und 16 Gewichtsteilen (1 Atom) Sauerstoff, also NaHO, setzt sich mit der Salzsäure HCl in der Weise um, daß sich Kochsalz NaCl und Wasser H_2O bilden. Das Ätznatron NaHO unterscheidet sich, wie man auf den ersten Blick sieht, vom Wasser HHO dadurch, daß jede Molekel desselben an Stelle eines Atoms Wasserstoff ein Atom Natrium enthält, man kann es deshalb als Natriumwasser auffassen, und es hat auch einen ähnlichen Namen, nämlich Natriumhydrat (von Hydor, der griechischen Übersetzung des Wortes Wasser abgeleitet) erhalten. Also: sobald Salzsäure mit Natriumhydrat vermischt wird, entsteht Kochsalz und Wasser.

In gleicher Weise können wir mit leichter Mühe den Salpeter bereiten.

Dem Natriumhydrat nämlich entspricht eine Verbindung des Metalls Kalium mit Wasserstoff und Sauerstoff, deren Molekel aus je einem Atom (39 Gewichtsteilen) Kalium, einem Atom (1 Gewichtsteil) Wasserstoff und einem Atom (16 Gewichtsteilen) Sauerstoff besteht, demnach KHO geschrieben und als Kaliumhydrat bezeichnet wird. Sobald eine Auflösung von Kaliumhydrat, die noch stärker ätzend und laugenhaft schmeckt, als eine Lösung von Natriumhydrat, mit der sauer schmeckenden Lösung der Salpetersäure, deren Zusammensetzung, wie wir oben erfahren haben, HNO_3 ist, vermischt wird, so erwärmt sich die Flüssigkeit sehr stark und nimmt nach und nach salzigen Geschmack an. Verdampft man nach genügendem Zusatz die Flüssigkeit, so bleibt reiner Salpeter zurück. Der

chemische Vorgang ist hier derselbe, wie bei der Entstehung von Kochsalz aus Natriumhydrat und Salzsäure. Die Kaliumatome der Kaliumhydratmolekeln und die Wasserstoffatome der Salpetersäuremolekeln tauschen ihre Plätze, wie folgendes Bild veranschaulicht:

Kaliumhydrat	KHO
und Salpetersäure	HNO_3
liefern	
Salpeter	KNO_3
und Wasser	HHO.

Endlich läßt sich auch das Glaubersalz in einfachster Weise durch Vermischen einer Lösung von Natriumhydrat, welche übrigens Natronlauge genannt wird, mit Schwefelsäure bereiten. Da aber die Schwefelsäure, wie wir wissen, H_2SO_4 zusammengesetzt ist, also in jeder Molekel zwei Wasserstoffatome enthält, andererseits das Glaubersalz die Zusammensetzung Na_2SO_4 besitzt, so sehen wir, daß beide Wasserstoffatome der Schwefelsäure durch zwei Natriumatome ausgetauscht werden, um Glaubersalz zu liefern; es ist demnach der chemische Vorgang bei dieser Umwandlung durch folgendes Bild wiederzugeben:

je 2 Molekeln Natriumhydrat	$2\,NaHO$
und je 1 Molekel Schwefelsäure	H_2SO_4
liefern	
je 1 Molekel Glaubersalz	Na_2SO_4
und je 2 Molekeln Wasser	$2\,HHO$.

Das Kalium und das Natrium sind zwei Metalle, welche wegen der Schwierigkeit und Kostspieligkeit ihrer Darstellung und wegen ihrer leichten Veränderlichkeit beim Liegen an der Luft keine große technische Bedeutung als *Metalle* besitzen, obwohl ihre Verbindungen von äußerster Wichtigkeit sind, welche daher im gewöhnlichen Leben als *Metalle* selten genannt werden. Außer diesen beiden giebt es aber eine beträchtliche Anzahl von Elementen, welche wir im täglichen Leben schon als Metalle kennen, wie das Eisen, das Blei, das Kupfer, das Zink, das Silber,

das Quecksilber u. a. Alle diese Elemente und noch verschiedene andere, deren Metallnatur leicht an ihrem eigentümlichen Glanz, an ihrer vorzüglichen Leitungsfähigkeit für Wärme und Elektrizität erkannt werden kann, geben mit Sauerstoff und Wasserstoff Verbindungen, welche dem Kaliumhydrat und Natriumhydrat ähnlich sind und deshalb auch als Hydrate bezeichnet werden. Und alle Metallhydrate liefern mit größter Leichtigkeit und unter starker Wärmeentwickelung, sobald sie mit Säuren zusammengebracht werden, Salze. Man hat daher in früheren Zeiten die Metallhydrate als die Grundlage, die Basis der Salze, betrachtet und nannte sie schlechthin Basen, so daß man den Satz aufstellen konnte: Sobald eine Säure und eine Basis zusammentreffen, entsteht ein Salz und Wasser. Wir können freilich noch einfacher die Salze als solche Verbindungen auffassen, in deren Molekeln an Stelle des Wasserstoffs der Säuren Metall sich befindet, und ebenso die Säuren als Verbindungen, welche stets Wasserstoff enthalten und diesen Wasserstoff leicht, sobald eine Basis hinzugesetzt wird, durch Metall austauschen lassen.

Somit haben wir drei große Klassen von Verbindungen kennen gelernt, Säuren, Basen und Salze. Unter Säuren verstehen wir Verbindungen des Wasserstoffs mit einem oder mehreren anderen Elementen, welche sich durch die Fähigkeit auszeichnen, diesen Wasserstoff sehr leicht durch Metalle ersetzen, namentlich beim Vermischen mit Basen sofort diesen Austausch vor sich gehen und ein Salz entstehen zu lassen. Unter Basen verstehen wir Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff (Metalloxyde) oder mit Sauerstoff und Wasserstoff (Metallhydrate), welche mit den Säuren sofort Salze erzeugen. Und die Salze selbst endlich sind nichts anderes als die Verbindungen, in denen für den Wasserstoff der Säuren irgend ein Metall eingetreten ist.

Aber dabei wollen wir gleich einen anderen wichtigen Punkt klarstellen. Wir haben oben erfahren, daß in der Salzsäure je ein Atom Chlor mit je einem Atom Wasserstoff, in dem Wasser

je ein Atom Sauerstoff mit je zwei Atomen Wasserstoff, im Ammoniak je ein Atom Stickstoff mit je drei Atomen Wasserstoff verbunden sind. Es besitzen demnach die einzelnen Elemente nicht die gleiche quantitative Verbindungsfähigkeit dem Wasserstoff gegenüber. Während je ein Chloratom höchstens ein Wasserstoffatom anzuziehen vermag, ist jedes Sauerstoffatom im Stande, zwei Wasserstoffatome an sich zu ketten, jedes Stickstoffatom sogar deren drei. Man bezeichnet die Fähigkeit der verschiedenen Elemente, für je ein Atom eine verschieden große Anzahl von Wasserstoffatomen zu binden, als den chemischen Wert des betreffenden Elements, so daß z. B. das Chlor als einwertig, der Sauerstoff als zweiwertig, der Stickstoff als dreiwertig dem Wasserstoff gegenüber betrachtet wird. Dadurch soll jedoch in keiner Weise die Größe der Anziehungskraft an sich ausgedrückt werden; das einwertige Chloratom besitzt z. B. eine weit größere Anziehungskraft zum Wasserstoff als das dreiwertige Stickstoffatom, so daß, wenn wir die Wasserstoffverbindung des Stickstoffs, das Ammoniak, mit Chlor zusammenbringen, augenblicklich die Wasserstoffatome von den Stickstoffatomen sich losreißen, um sich mit Chloratomen zu Salzsäure zu vereinigen, und die Stickstoffatome sich unter einander zu Molekeln vereinigen müssen. Aber selbstverständlich sind für jedes Stickstoffatom drei Chloratome erforderlich, um mit den drei Wasserstoffatomen einer jeden Ammoniakmolekel zu Salzsäure sich vereinigen zu können; jedes Stickstoffatom erfordert drei Chloratome, um aus seiner Wasserstoffverbindung verdrängt zu werden. Ebenso ist das Chlor imstande, das Wasser zu zersetzen. Wenn man in Wasser Chlorgas einleitet, so vermag jedes Liter Wasser ungefähr 3 Liter Chlorgas aufzulösen und man erhält eine durch das Chlor grüngefärbte, stark nach Chlor riechende Flüssigkeit, welche unter dem Namen Chlorwasser zu medizinischen Zwecken Verwendung findet. Läßt man eine solche Chlorlösung einige Stunden im Sonnenlichte oder einige Tage im Tageslicht stehen, so verschwindet allmählich die grüne Farbe und der erstickende

Geruch derselben, und die farblos gewordene Flüssigkeit enthält keine Spur von Chlor mehr, wohl aber Salzsäure. Unter dem Einfluß des Sonnenlichts hat das Chlor eine entsprechende Menge Wasser zu zersetzen vermocht, sich mit dem Wasserstoff zu Salzsäure vereinigt und freien Sauerstoff entstehen lassen. Eine jede Wassermolekel bedarf nun zu ihrer Zersetzung je zweier Chloratome, welche zwei Salzsäuremolekeln bilden, und liefert je ein Sauerstoffatom (das natürlich nicht in freiem Zustande bleibt, sondern im nächsten Moment mit einem zweiten in gleicher Weise aus einer anderen Wassermolekel frei gewordenen Sauerstoffatom zu einer Sauerstoffmolekel sich vereinigt). Wir sehen also, daß je drei Chloratome je ein Stickstoffatom, je zwei Chloratome ein Sauerstoffatom zu verdrängen und es zu ersetzen vermögen, oder allgemein gefaßt, je drei Atome eines einwertigen Elements ersetzen ein Atom eines dreiwertigen Elements, je zwei Atome eines einwertigen Elements sind erforderlich, um ein Atom eines zweiwertigen Elements zu verdrängen ꝛc., ebenso wie ein Atom eines einwertigen Elements sich nur mit einem Atom eines anderen einwertigen Elements, ein Atom eines zweiwertigen Elements sich nur mit zwei Atomen eines oder zweier verschiedener einwertiger Elemente, oder auch mit einem Atom eines zweiwertigen Elements, ein Atom eines dreiwertigen Elements mit drei Atomen eines oder verschiedener einwertiger Elemente, oder auch mit einem Atom eines zweiwertigen und einem Atom eines einwertigen Elements sich zu verbinden vermag. Als Beispiele könnten wir nach den auf den vorhergehenden Seiten kennen gelernten Verbindungen folgende anführen: H Cl, H Br, H J, Salzsäure, Bromwasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure für Verbindungen, in denen lediglich einwertige Elemente enthalten sind; H_2O, Na HO, $Fe Cl_2$, $Hg Cl_2$, Cu O, Wasser, Natriumhydrat, Chloreisen, Chlorquecksilber, Kupferoxyd für Verbindungen, in denen ein Atom eines zweiwertigen Elements mit zwei Atomen eines oder zweier einwertiger Elemente oder mit einem Atom eines zweiwertigen Elements ver-

einigt sind; H_3N, $NOCl$, Ammoniak, Stickstoffoxychlorid für Verbindungen, welche mit einem Atom eines dreiwertigen Elements drei Atome eines einwertigen oder ein Atom eines zweiwertigen und ein Atom eines einwertigen Elements enthalten. Wenn wir daher den Wert der Elemente kennen, so sind wir leicht imstande, die Zusammensetzung einer Verbindung dieses Elements zu erkennen. So würde z. B. eine Verbindung des einwertigen Silbers mit dem zweiwertigen Sauerstoff nur Ag_2O, mit dem einwertigen Chlor nur $AgCl$ zusammengesetzt sein können. Allein die Verhältnisse komplizieren sich mannigfach dadurch, daß nicht nur der Wert eines Elements wenn auch innerhalb enger Grenzen variabel ist, sondern daß die mehrwertigen Elemente auch fähig sind, zu zwei und mehr Atomen sich gegenseitig mit einem Teil ihrer Anziehungskräfte zu binden, so daß nur der Rest ihrer Anziehungskräfte für die anderen Elemente disponibel bleibt. Veranschaulichen wir uns die Anziehungskräfte der Elemente durch kleine Bindestriche, so für Wasserstoff durch das Zeichen H^{-}, für Chlor durch das Zeichen Cl^{-}, für Sauerstoff durch das Zeichen $^{-}O^{-}$ oder $O^{=}$, für Kupfer durch das Zeichen $^{-}Cu^{-}$ oder $Cu^{=}$, für Stickstoff durch das Zeichen $\begin{array}{c}{}^{-}N^{-}\\ |\end{array}$ oder $\begin{array}{c}N^{=}\\ |\end{array}$ ꝛc., dann würde die Salzsäuremolekel durch das Zeichen $H^{-}Cl$, die Wassermolekel durch $H^{-}O^{-}H$, die Ammoniakmolekel durch $H^{-}\underset{\underset{H}{|}}{N}^{-}H$, die Kupferoxydmolekel durch $Cu^{=}O$ und die Stickstoffoxychloridmolekel durch $\underset{\underset{Cl}{|}}{N}^{=}O$ auszudrücken sein.

Aber es können auch zwei Sauerstoffatome sich mit je einer Anziehungskraft gegenseitig binden, was wir durch das Zeichen $^{-}O^{-}O^{-}$ ausdrücken könnten, und es würden alsdann für beide Atome zusammen nur zwei Anziehungskräfte übrig bleiben, so daß z. B. eine Verbindung $H^{-}O^{-}O^{-}H = H_2O_2$, d. i. das sog. Wasserstoffsuperoxyd, oder auch $[\underset{\underset{O}{|}}{O^{-}O}]\,O_3$, eine aus drei

Atomen Sauerstoff bestehende Sauerstoffmolekel, d. i. das bekannte Ozon, resultieren würde. Ferner ist der Stickstoff dem Wasserstoff gegenüber zwar stets dreiwertig, d. h. er vermag zu je einem Atom nur drei Atome Wasserstoff, nicht mehr, nicht weniger, anzuziehen, aber dem Sauerstoff gegenüber kann er einwertig, zweiwertig, dreiwertig, vierwertig, sogar fünfwertig auftreten, d. h. mit anderen Worten, er vermag Sauerstoffatome in verschiedener Menge anzuziehen und es sind z. B. folgende Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs bekannt: N_2O, das sog. Stickstoffoxydul oder Nitrooxygen, ein Gas welches eingeatmet auf kurze Zeit Empfindungslosigkeit hervorruft und von den Zahnärzten zur Hervorrufung von Bewußtlosigkeit beim Ausziehen von Zähnen benutzt wird; dann NO, das sog. Stickstoffoxyd, ein äußerst giftig wirkendes Gas, welches farblos ist, aber sobald es mit Luft in Berührung kommt, sofort sich mit Sauerstoff vereinigt und sich rot färbt; dann N_2O_3, ferner NO_2, ein rotes Gas und endlich N_2O_5, eine Verbindung, welche beim Zusammentreffen mit Wasser sofort in Salpetersäure sich verwandelt. Auf diese, die Verbindungsverhältnisse der Elemente untereinander komplizierenden und deren Durchsichtigkeit beeinträchtigenden Thatsachen soll erst später näher eingegangen werden. —

Wenn nun in Säuren an die Stelle des Wasserstoffs irgend ein Metall tritt, so sind wir, wenn wir den chemischen Wert des Metalles kennen, im stande, a priori die Zusammensetzung des so entstandenen Salzes zu erschließen. Denn es gilt überall in der Chemie der Grundsatz: nur gleichwertige Mengen von Elementen können sich gegenseitig ersetzen, d. h.

Ein einwertiges Metall, z. B. Kalium oder Natrium, ersetzt zu je einem Atom ein Wasserstoffatom. Wenn daher die betreffende Säure, wie es bei der Salzsäure, der Bromwasserstoffsäure und der Jodwasserstoffsäure der Fall ist, in jeder Molekel nur ein Wasserstoffatom enthält, so bildet sich das Salz, indem an die Stelle des H in einer Säuremolekel ein Atom des Metalls tritt, z. B.:

$HCl - NaCl$; $HBr - KBr$.

Enthält dagegen jede Säuremolekel zwei Wasserstoffatome, wie z. B. die Schwefelsäure, H_2SO_4, so werden auch zwei Atome eines einwertigen Elements (oder zweier einwertiger Elemente) zum Ersatz der beiden Wasserstoffatome erfordert werden, z. B.

$H_2SO_4 — Na_2SO_4$ oder auch $NaKSO_4$

(in letzterem Falle sind die beiden H der Schwefelsäuremolekel durch zwei verschiedene einwertige Metalle, Natrium und Kalium, ausgetauscht.)

Enthält eine jede Molekel einer Säure drei Wasserstoffatome, wie z. B. die der Phosphorsäure, H_3PO_4, so werden zum Ersatz der drei H auch drei Atome eines oder mehrerer einwertiger Metallatome erforderlich sein, z. B. $H_3PO_4 — Na_3PO_4$ ꝛc.

Allgemein gefaßt lautet das Gesetz: Von einwertigen Metallen sind gerade so viele Atome zur Ersetzung der Wasserstoffatome in Säuren erforderlich, als die Zahl der durch dieselben vertretenen H beträgt.

Es giebt jedoch auch zweiwertige Metalle, von denen wir das Kupfer (Cu) und das Nickel (Ni) bereits kennen gelernt haben, ja die Mehrzahl der Metalle ist zweiwertig. Ein solches zweiwertiges Metallatom kann aber stets nur zwei Atome Wasserstoff der Säuren vertreten. Wenn daher eine jede Molekel irgend einer Säure, wie es bei der Schwefelsäure, H_2SO_4, der Fall ist, gerade zwei Wasserstoffatome besitzt, so werden diese beiden durch ein derartiges zweiwertiges Metallatom ersetzt werden können, aus der Schwefelsäure H_2SO_4 wird das Salz $CuSO_4$, $NiSO_4$ ꝛc. entstehen müssen. Wenn dagegen die Molekel der betreffenden Säure nur ein Wasserstoffatom enthält, wie die der Salzsäure, HCl, Bromwasserstoffsäure HBr, Salpetersäure, HNO_3, so sind stets je zwei Säuremolekeln erforderlich, die gemeinschaftlich ihre beiden H durch ein Atom des betreffenden zweiwertigen Metalls austauschen lassen, um ein

Salz zu liefern; z. B. um den Wasserstoff in der Salzsäure durch Kupfer vertreten zu lassen, müssen je 2 HCl vorhanden sein, und es entsteht alsdann $CuCl_2$, ebenso entsteht aus der Salpetersäure, z. B. das Nickelsalz dadurch, daß in 2 HNO_3 die beiden H durch ein Atom Ni ersetzt werden, so daß wir erhalten $Ni(NO_3)_2$ Aus letzterem Symbol ersehen wir auch, wie man in einfacher Weise eine größere Anzahl von Atomen, einen Atomkomplex, der mehrmals in der Molekel einer Verbindung enthalten ist, in der chemischen Schreibweise der betreffenden Verbindung auszudrücken imstande ist, nämlich durch Einklammern des Atomkomplexes und eine Ziffer hinter der Klammer. Das Symbol $Ni(NO_3)_2$ bedeutet, daß mit einem Atom Nickel der Atomkomplex NO_3 zweimal verbunden ist.

Wenn dagegen in der Molekel einer Säure drei Wasserstoffatome enthalten sind, so können diese letzteren nur in der Weise durch ein zweiwertiges Metall ausgetauscht werden, daß in je zwei Säuremolekeln für die dann vorhandenen 6 H drei Atome des zweiwertigen Metalls eintreten, so z. B. entsteht aus der Phosphorsäure H_3PO_4, dadurch das Calciumsalz, (jedes Atom Calcium, Ca, ist zweiwertig) daß 3 Ca sich an die Stelle von 6 H in 2 H_3PO_4 lagern, sich demnach mit 2 PO_4 verbinden und die Verbindung $Ca_3(PO_4)_2$ entstehen lassen. Beiläufig bemerkt, ist dieses „phosphorsaure Calcium" der Hauptbestandteil der Knochen aller Wirbeltiere.

Endlich kann ein dreiwertiges Metallatom nur je drei Wasserstoffatome in Säuremolekeln austauschen, um irgend ein Salz zu erzeugen. So sind z. B. das Wismut (Bi = Bismuthum) und das Gold (Au = Aurum) dreiwertige Metalle, folglich werden drei Molekeln einer Säure, welche nur ein durch Metall ersetzbares Wasserstoffatom besitzt, erforderlich sein, um mit einem derartigen Metall ein Salz zu bilden, das salpetersaure Wismut wird die Zusammensetzung $Bi(NO_3)_3$ und das Chlorgold die Zusammensetzung $AuCl_3$ besitzen müssen.

Allein ebenso wie die verschiedenen Wasserstoffatome einer

Säure, welche mehr als 1 H in der Molekel enthält, einer mehrbasischen Säure, wie man sich ausdrückt, durch verschiedene Metalle ersetzt sein können, so ist es auch möglich, daß nur ein Teil der Wasserstoffatome durch Metall ersetzt ist. So vermag die Schwefelsäure, H_2SO_4, nicht nur beide Wasserstoffatome durch Metalle zu ersetzen, um Salze zu bilden, sondern sie kann das eine Atom ersetzen lassen, das andere unersetzt behalten. Es sind z. B. Salze der Schwefelsäure bekannt von der Zusammensetzung $KHSO_4$, $NaHSO_4$ ꝛc. Von der Phosphorsäure H_3PO_4 sind unter anderen ähnlichen folgende wichtige Salze bekannt: KH_2PO_4, NaH_2PO_4, ferner K_2HPO_4, Na_2HPO_4 ꝛc., d. h. es können von den drei Wasserstoffatomen der Phosphorsäure entweder alle drei, oder auch nur zwei, oder endlich nur gar ein Atom H durch Metall ausgetauscht sein.

Diese Salze sind eigentümliche Verbindungen. Da in ihnen noch ein Teil des Wasserstoffs, welcher durch Metalle leicht austauschbar ist, sich befindet, sind sie gleichzeitig Salze und Säuren und man bezeichnet sie mit dem gemeinschaftlichen Namen saure Salze. Bei der dreibasischen Phosphorsäure, bei welcher zwei Reihen saurer Salze existieren, heißen die Salze (KH_2PO_4, NaH_2PO_4), in denen noch zwei durch Metalle ersetzbare Wasserstoffatome befindlich sind, zweifach saure Salze, „zweifach saures phosphorsaures Kalium“ ꝛc., dagegen die Salze K_2HPO_4, Na_2HPO_4, einfach saure Salze, „einfach saures phosphorsaures Natrium“ ꝛc. Man bezeichnet sie aber auch der Kürze halber als primäre, sekundäre ꝛc. Salze, primäres phosphorsaures Kalium ist KH_2PO_4, sekundäres phosphorsaures Natrium ist Na_2HPO_4 und tertiäres phosphorsaures Natrium ist das eigentliche, oder das neutrale Salz Na_3PO_4, in welchem endlich sämtlicher Wasserstoff der Phosphorsäure durch das Metall Natrium vertreten ist.

Man unterscheidet daher neutrale und saure Salze und versteht unter den ersteren diejenigen, bei welchen alle in einer Säuremolekel vorhandenen durch Metalle austauschbare Wasser-

stoffatome durch ein oder mehrere Metalle ersetzt sind, während die zweite Klasse von Salzen diejenigen in sich begreift, bei welchen ein Teil der ersetzbaren Wasserstoffatome noch vorhanden ist.

Wir haben bis jetzt die Salze lediglich von den Säuren hergeleitet, haben sie als diejenigen Verbindungen kennen gelernt, welche für sämtlichen Wasserstoff der Säuren oder für einen Teil desselben Metallatome enthalten. Aber mit gleicher Berechtigung können wir die Salze auch von den Basen ableiten. Wir gelangen hierbei auf dem umgekehrten Wege zu demselben Ziele.

Wir haben oben die Basen als die Hydrate der Metalle kennen gelernt, also sämtlich als Sauerstoffverbindungen, in denen der Sauerstoff zur Hälfte an irgend ein Metall, zur anderen Hälfte an Wasserstoff gebunden ist. Da jedes Sauerstoffatom zweiwertig ist und der eine Wert desselben durch die Bindung an ein Wasserstoffatom in Anspruch genommen ist, so bleibt zur Bindung an das betreffende Metall stets nur ein Wert übrig. Bei den einwertigen Metallen, zu denen das Kalium (K), das Natrium (Na), das Silber (Ag) gehören, genügt dieser eine Wert, um ein volles Metallatom zu binden, so daß die Hydrate die Zusammensetzung K—O—H, Na—O—H ꝛc. besitzen müssen. Bei den zweiwertigen Metallen hingegen, z. B. dem Calcium (Ca), dem Kupfer (Cu), dem Zink (Zn) ꝛc. ist diese eine übrig bleibende Anziehungskraft des Sauerstoffs nicht imstande, die beiden Anziehungskräfte des Metallatoms zu sättigen. Folglich müssen für je ein Metallatom zwei Sauerstoffatome (jedes zugleich mit einem Wasserstoffatome) eintreten, um die Molekel der Basis derart herzustellen, daß alle Anziehungskräfte nach der einen Seite durch ebenso viele nach der anderen Seite im Gleichgewicht gehalten werden. Z. B. H—O—Ca—O—H = $Ca(OH)_2$, Calciumhydrat, d. i. unser gewöhnlicher gelöschter Kalk; H—O—Cu—O—H = $Cu(OH)_2$, Kupferhydrat, $Zn(OH)_2$, Zinkhydrat. Wir sehen also, daß die Hydrate der zweiwertigen

Metalle 2 OH enthalten. Den Atomkomplex OH hat man mit dem Namen Hydroxyl belegt.

Es braucht kaum ausgeführt zu werden, daß ein dreiwertiges Metall, wie etwa das Wismut (Bi) sich mit drei OH, mit drei Hydroxylen, wird vereinigen müssen, um ein Hydrat zu liefern: $Bi(OH)_3$. Daraus erkennen wir ferner, daß der Atomkomplex OH, das Hydroxyl, gerade so wie ein einwertiges Element fungiert, d. h. daß mit einem einwertigen Metallatom sich ein OH, mit einem zweiwertigen Metallatom sich zwei OH, mit einem dreiwertigen sich drei OH vereinigen. Daraus wird man die Zusammensetzung der Basen, wenn man den Wert der Metalle kennt, leicht bestimmen können, ebenso wie man aus der Zusammensetzung einer Base den Wert des Metalls abzuleiten vermag.

Nun wissen wir, daß, wenn eine Base mit einer Säure vermischt wird, stets ein Salz unter gleichzeitiger Bildung von Wasser entsteht: KOH und HNO_3 geben KNO_3 und HOH; d. h. Kaliumhydrat und Salpetersäure liefern sofort Salpeter und Wasser. Nun können wir diesen Vorgang in der Weise auffassen, daß an die Stelle des Hydroxyls im Kaliumhydrat der Rest der Salpetersäuremolekel mit dem Kalium sich vereinigt, während das Hydroxyl seinerseits mit dem Wasserstoff der Salpetersäure zu Wasser sich verbindet. Es entsteht demnach ein Salz dadurch, daß das Hydroxyl der Base durch den Rest einer Säuremolekel, durch ein Säureradikal ausgetauscht wird. Auch bei dieser Auffassung der Salzbildung haben wir, um zu richtigen Schlüssen inbetreff der Zusammensetzung der entstehenden Salze zu gelangen, vor Allem auf den Wert des Säureradikals zu achten. Das Hydroxyl funktioniert gerade so, wie ein einwertiges Element, das haben wir soeben erfahren. Das Säureradikal aber ist einwertig, wenn es alle Atome der Säuremolekel weniger ein H darstellt, z. B. NO_3 aus HNO_3 HSO_4 aus H_2SO_4 ꝛc., es ist zweiwertig, wenn es die Atome der Säuremolekel weniger 2 H enthält, z. B. SO_4 aus H_2SO_4,

HPO_4 aus H_3PO_4, es ist endlich dreiwertig, wenn es die Atome der Säuremolekel weniger 3 H besitzt u. s. w.

An die Stelle eines Hydroxyls kann nur ein einwertiges Säureradikal treten, um ein Salz zu erzeugen, Beispiele sind hierfür bei Na OH — $NaNO_3$, $NaHSO_4$, NaH_2PO_4. An die Stelle zweier Hydroxyle können zwei einwertige oder ein zweiwertiges Säureradikal treten. Die zwei einwertigen Säureradikale können sowohl die Reste von zwei Molekeln derselben Säure als auch zweier verschiedener Säuren sein; Beispiele: aus $Cu(OH)_2$ entstehen $CuCl_2$, $Cu(NO_3)_2$, aber auch $CuClNO_3$, ferner $CuSO_4$, $CuHPO_4$ ꝛc.

An die Stelle dreier Hydroxyle einer Base können drei einwertige Säureradikale (mit allen möglichen Variationen) und ein dreiwertiges Säureradikal treten, z. B. entsteht aus $Bi(OH)_3$ — $Bi(NO_3)_3$, $BiCl_3$, $BiPO_4$ ꝛc. Dagegen sind zwei Molekeln einer derartigen Basis erforderlich, um ihre Hydroxyle durch zweiwertige Säureradikale ersetzen zu lassen, und es gehören drei zweiwertige Säureradikale dazu, um einen gleichwertigen Ersatz für die alsdann vorhandenen 6 OH zu bieten, so daß z. B. aus 2 $Bi(OH)_3$ und 3 $(H_2)SO_4$ erst das Salz $Bi_2(SO_4)_3$ entstehen kann.

Aber gerade so, wie wir bei den mehrbasischen Säuren, d. h. denjenigen, welche mehr als ein ersetzbares Wasserstoffatom enthalten, erfahren haben, daß nicht sämtliche Wasserstoffatome durch Metalle ersetzt sein müssen, daß ein Teil der H Atome unersetzt bleiben kann und dann die sogenannten sauren Salze entstehen, genau in derselben Weise ist es bei den mehrere Hydroxyle enthaltenden Basen, den mehrsäurigen Basen, nicht notwendig, daß sämtliche Hydroxyle bei der Entstehung von Salzen durch Säureradikale ausgetauscht werden. Es können vielmehr die Hydroxyle zum Teil durch Säureradikale ersetzt werden, zum Teil unersetzt bleiben, so daß wir z. B. von Kupferhydrat $Cu(OH)_2$ erhalten können ein salpetersaures Salz von

der Zusammensetzung Cu (OH) NO_3, vom Wismuthhydrat, Bi $(OH)_3$, ein salpetersaures Salz Bi $(OH)_2$ NO_3 u. s. f.

Derartige Verbindungen, welche gleichzeitig als Salze und als Basen betrachtet werden können, werden als basische Salze bezeichnet.

Wir sehen demnach, daß bei der Bildung von Salzen aus Säuren und Basen für Wasserstoff (oder Hydroxyl) stets ebenso viele Werte eines Metalls (oder eines Säureradikals) eintreten, als Wasserstoffatome ersetzt werden. Es ist jedoch das Prinzip der Ersetzbarkeit irgend eines Elements immer nur durch die gleichwertige Menge eines anderen Elements ein für sämtliche chemischen Umsetzungen gültiger Fundamentalsatz.

Allein der einfache Satz, nur gleichwertige Mengen von Atomen können einander ersetzen, erfährt eine unliebsame Komplikation dadurch, daß der Wert der meisten Elemente keine unabänderliche Größe ist. Zwar zeigen alle diejenigen Elemente, welche mit Wasserstoff sich verbinden, diesem gegenüber einen konstanten Wert, das Chlor ist nur einwertig, der Sauerstoff nur zweiwertig, der Stickstoff nur dreiwertig, der Kohlenstoff nur vierwertig dem Wasserstoff gegenüber, d. h. je ein Atom Chlor vermag sich nur mit einem Atom H zu verbinden, je ein Atom Sauerstoff nur mit je 2 Wasserstoffatomen, je ein Atom Stickstoff nur mit je drei, und je ein Atom Kohlenstoff nur mit je vier Atomen Wasserstoff zu vereinen. Dagegen schwankt der Wert mancher Elemente schon dem Chlor gegenüber. So ist beispielsweise der Phosphor fähig, zu je einem Atom sich sowohl mit drei, wie mit fünf Atomen Chlor zu den Verbindungen PCl_3 und PCl_5 zu vereinigen, es ist demnach, wenn wir das Chlor als einwertig betrachten, der Phosphor nicht nur dreiwertig, sondern auch fünfwertig. Und gerade demjenigen Elemente gegenüber, welches die meisten und die wichtigsten Verbindungen mit den übrigen Elementen zu bilden vermag, gerade dem Sauerstoff gegenüber findet innerhalb gewisser Grenzen ein starkes Schwanken des chemischen Werts statt. Jedoch zeigt

jedes Element einen Maximalwert dem Sauerstoff gegenüber, der zwar nicht erreicht zu werden braucht, aber auch nicht überschritten werden kann. So vermag der Stickstoff mit Sauerstoff fünf Verbindungen zu liefern, in denen er ein- bis fünfwertig auftritt, und das Chlor bildet Sauerstoffverbindungen, in denen es sowohl als einwertiges, wie als drei-, vier-, fünf- und sogar siebenwertiges Element fungiert. Allein nur wenige Elemente giebt es, deren Anziehungskräfte zum Sauerstoff so starken Schwankungen unterliegen, so daß dadurch die Unsicherheit in der Vorherbestimmung der Zusammensetzung einer Sauerstoffverbindung verhältnismäßig gering ist.

Beziehungen der Atomgewichte zu den Eigenschaften der Elemente.

Unter den 74 bis jetzt bekannten Elementen sind fast stets mehrere einander in der Weise sehr ähnlich, daß ihre Verbindungen mit denselben anderen Elementen nicht nur gleiche Zusammensetzung, sondern vor allem gleiche Eigenschaften in Bezug ihrer Wirkung auf andere Stoffe besitzen. So sind z. B. das Chlor, das Brom und das Jod in ihren Verbindungen einander äußerst ähnlich, das Kalium, das Natrium und die selteneren Metalle Lithium, Rubidium und Cäsium bilden einander sehr ähnliche Verbindungen, namentlich besitzen die Kalium-, Rubidium- und Cäsiumverbindungen so große Ähnlichkeit, daß es fast nur durch die später zu besprechende Spektralanalyse möglich wird, sie von einander zu unterscheiden. In gleicher Weise sind einander sehr ähnlich die Phosphor-, Arsen- und Antimonverbindungen, die Schwefel-, Selen- und Tellurverbindungen, die Calcium-, Strontium- und Bariumverbindungen ꝛc. Da ist man denn frühzeitig auf eine eigentümliche Regelmäßigkeit in den Atomgewichten bei solchen einander nahestehenden Elementen aufmerksam geworden. So ist z. B. das Atom-

gewicht des Chlors = 35,5, das des Broms = 80, das des Jods = 127, es ist demnach die Differenz zwischen den Atomgewichten des Chlors und des Broms = 44,5, des Broms und des Jods = 47, ferner ist das Atomgewicht des Lithiums = 7, das des Natriums = 23, das des Kaliums = 39, das des Rubidiums = 85,4, das des Cäsiums = 133, folglich ist die Differenz zwischen den Atomgewichten des Lithiums (7) und des Natriums (23) = 16, des Natriums (23) und des Kaliums (39) = 16, des Kaliums (39) und des Rubidiums (85,4) = 46,4, des Rubidiums (85,4) und des Cäsiums (133) = 47,6, die Differenz in den Atomgewichten der letzten drei Elemente nahezu = 3 × 16. Das Atomgewicht des Phosphors ist 31, das des Arsens = 75, das des Antimons = 122, die Differenzen demnach = 44 und 47, beide einander nahezu gleich. In derselben Weise sind die Differenzen in den Atomgewichten der oben erwähnten unter einander ähnlichen Elementgruppen nahezu einander gleich, so zwischen Schwefel (Atomgew. = 32) und Selen (Atomgew. = 79) gleich 47, zwischen Selen und Tellur (Atomgew. 126) gleich 47, ferner bei der Calciumgruppe die zwischen Calcium (Atomgew. = 40) und Strontium (Atomgew. = 87,5) gleich 47,5 zwischen Strontium und Barium (Atomgew. = 137) gleich 49,5. Aber wie wir sehen, sind diese Differenzen nicht nur bei einer und derselben Gruppe von einander ähnlichen Elementen nahezu unter einander gleich, sondern es beträgt diese Differenz überall entweder ca. 16 oder ein Multiplum von 16. Jedoch sind die Abweichungen von diesen Zahlen so groß, daß man sie nicht auf die Ungenauigkeit in der Bestimmung der Atomgewichte schieben konnte, und so blieb denn diese Thatsache auffallend, ohne daß man ein wirkliches Gesetz erkennen konnte, bis von verschiedenen Seiten, namentlich von Mendelejeff 1872 ein allgemeines Gesetz erkannt worden ist. Wenn man nämlich die Elemente nach ihren Atomgewichten ordnet, so findet man, daß nach je sieben Elementen das achte dem ersten, das neunte dem zweiten, das zehnte dem dritten Elemente ähnlich ist u. s. f.,

aber noch mehr: nach je 14 Elementen das fünfzehnte mit dem ersten, das sechzehnte mit dem zweiten ꝛc. noch mehr Ähnlichkeit besitzt, als das achte mit dem ersten, das neunte mit dem zweiten ꝛc., und man hat je sieben Elemente eine kleine, je 14 Elemente eine große Periode, diese Gesamtanordnung der Elemente das periodische System genannt. In diesem System befinden sich jedoch am Schluß je einer großen Periode eine Gruppe von vier Elementen miteinander nahezu gleichem Atomgewicht, deren letztes Glied zugleich das erste Glied der folgenden Periode ist und somit zu derselben überleitet. Es finden bei dieser Anordnung der Elemente folgende Gesetzmäßigkeiten statt:

1) Alle Elemente einer und derselben Gruppe besitzen denselben chemischen Wert den anderen Elementen gegenüber, und zwar ist Gruppe I dem Sauerstoff gegenüber einwertig, d. h. mit je einem Atom (16 Gewichtsteilen) Sauerstoff sind wenigstens zwei Atome eines jeden Elements dieser Gruppe vereinigt; die Elemente der Gruppe II sind dem Sauerstoff gegenüber zweiwertig, so daß je ein Atom Sauerstoff mit je einem Atom des betreffenden Elements vereinigt ist; die Elemente der Gruppe III sind dem Sauerstoff gegenüber dreiwertig, so daß je zwei Atome des betreffenden Elements mit je drei Atomen Sauerstoff sich verbinden. Aber es ist nicht nötig, daß stets dieses Verhältnis obwaltet, ein jedes dieser Elemente ist höchstens dreiwertig, die meisten derselben können auch einwertig sein, wie man z. B. vom Gallium, Indium und Tallium derartige Verbindungen darzustellen vermag. Die Elemente der Gruppe IV sind dem Sauerstoff gegenüber meist vierwertig, allein auch hier ist die Vierwertigkeit nur das Maximum der von dem betreffenden Elemente geäußerten Anziehungskräfte, der Grenzwert, sie können alle auch zweiwertig auftreten. Die Elemente der Gruppe V sind dem Sauerstoff gegenüber fünfwertig (und dreiwertig), die Elemente der Gruppe VI sechswertig, jedoch können die meisten auch vierwertig, dreiwertig und sogar zweiwertig auftreten, die Elemente der Gruppe VII sind siebenwertig (jedoch auch fünf-,

Gruppe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1.	Wasserstoff = 1							
2.	Lithium = 7	Beryllium = 9	Bor = 11	Kohlenstoff = 12	Stickstoff = 14	Sauerstoff = 16	Fluor = 19	
3.	Natrium = 23	Magnesium = 24	Aluminium = 27	Silicium = 28	Phosphor = 31	Schwefel = 32	Chlor = 35,5	Eisen, Kobalt = 56 = 59
4.	Kalium = 39	Calcium = 40	Scandium = 44	Titan = 48	Vanadin = 51	Chrom = 52	Mangan = 55	Nickel, Kupfer = 59 = 63
5.	(Kupfer = 63)	Zink = 65	Gallium = 69	Germanium = 72	Arsen = 75	Selen = 78	Brom = 80	Ruthenium, Rhodium = 104 = 104
6.	Rubidium = 85	Strontium = 87	Yttrium = 89	Zirkonium = 90	Niob = 94	Molybdän = 96	? = 100	Palladium, Silber = 106 = 108
7.	(Silber = 108)	Cadmium = 112	Indium = 114	Zinn = 118	Antimon = 120	Tellur = 126	Jod = 127	? ? = 152 = 154
8.	Cäsium = 133	Barium = 137	Lanthan = 139	Cer = 141,6	Didym = 144	Terbium = 147	Samarium = 150	? ? = 154 = 156
9.	(? = 156)	? = 157	? = 159	? = 162	Erbium = 166	? = 167	? = 169	Osmium, Iridium = 193 = 193
10.	? = 170	? = 172	Ytterbium = 173	? = 177	Tantal = 182	Wolfram = 184	? = 190	Platin, Gold = 194 = 197
11.	(Gold = 197)	Quecksilber = 200	Thallium = 204	Blei = 207	Wismuth = 210	? = 214	? = 219	
12.	? = 221	? = 225	? = 230	Thorium = 234	? = 237	Uran = 240	? = 244	

drei- und einwertig). Endlich sind die Elemente der Gruppe VIII bis achtwertig. Aber wenn wir bei den Elementen von Gruppe I bis VIII eine regelmäßige Zunahme im Wert dem Sauerstoff gegenüber wahrnehmen, so verhalten sie sich dem Wasserstoff gegenüber umgekehrt. Zunächst sei konstatiert, daß die Elemente der Gruppen I—III sich überhaupt nicht mit Wasserstoff verbinden können, und daß bei den Elementen der Gruppen IV—VIII der Wert derselben dem Wasserstoff gegenüber, wie bereits oben auseinandergesetzt worden ist, stets derselbe bleibt. So sind die Elemente der Gruppe IV dem Wasserstoffe gegenüber stets vierwertig, die Elemente der Gruppe V stets dreiwertig, die Elemente der Gruppe VI stets zweiwertig, die der Gruppe VII stets einwertig, und endlich die der Gruppe VIII nur halbwertig, d. h. je ein Atom Wasserstoff verbindet sich mit je zwei Atomen der Elemente dieser Gruppe.

Aber eine ganze Reihe anderer Beziehungen hat man bei dieser Anordnung der Elemente nach ihren Atomgewichten aufgefunden. So sehen wir diejenigen Elemente, welche am meisten metallische Eigenschaften besitzen, wie Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium, Cäsium als Anfangsglieder der Perioden, während diejenigen Elemente, welche den Metallen gerade entgegengesetzt sind, wie Fluor, Chlor, Brom, Jod, die Endglieder der Perioden sind. Während die Verbindungen der Anfangsglieder mit Hydroxyl die stärksten Basen sind, sind schon die Wasserstoffverbindungen der Endglieder starke Säuren. Die Zwischenglieder einer jeden Periode aber bilden zugleich die Übergänge von dem einen Extrem ins andere.

Ferner hat man beobachtet, daß das spezifische Gewicht der Elemente, d. h. die Raumerfüllung der Masse, in naher Beziehung steht zum Atomgewichte. In den einzelnen Perioden findet von Glied zu Glied entweder ein regelmäßiges Ansteigen oder Sinken des spezifischen Gewichts statt, so daß man aus den spezifischen Gewichten seiner zwei Nachbarn dasjenige irgend eines beliebigen Elements nahezu genau berechnen kann. So ist z. B.

das spez. Gew. des Natriums 0,97, das des Aluminiums 2,56, dasjenige des zwischen Beiden stehenden Magnesiums 1,74 d. h. nahezu $\frac{0{,}97 + 2{,}56}{2}$. Das spez. Gew. des Kupfers ist 8,8, das des Galliums 5,96, das des zwischen Beide stehenden Zinks ist 7,15, d. h. nahezu $\frac{8{,}8 + 5{,}96}{2}$.

Spezifische Gewichte

Lithium	0,59	Beryllium	1,64	Bor	2,68	Kohlenstoff	3,3
Natrium	0,97	Magnesium	1,74	Aluminium	2,56	Silicium	2,49
Kalium	0,86	Calcium	1,57	Scandium	?	Titan	?
Kupfer	8,8	Zink	7,15	Gallium	5,96	—	
Rubidium	1,52	Strontium	2,50	Yttrium	?	Zirkonium	4,15
Silber	10,5	Cadmium	8,65	Indium	7,42	Zinn	7,29
Cäsium	1,88	Barium	3,75	Lanthan	6,2	Cer	6,7
—		—		—		—	
—		—		Ytterbium	?	—	
Gold	19,3	Quecksilber	13,59	Thallium	11,86	Blei	11,38
—		—		—		Thorium	7,7

Endlich hat man auch in bezug auf die mehr oder minder leichte Schmelzbarkeit und Vergasbarkeit der Elemente Regelmäßigkeiten, welche mit den Atomgewichten derselben zusammenhängen, aufgefunden, es würde uns jedoch zu weit führen, dieselben hier auseinander zu setzen. An die eben besprochene Anordnung der Elemente nach ihren Atomgewichten möge sich eine andere, schon seit längerer Zeit gebräuchliche, anschließen, welche namentlich die Entstehung der wichtigsten Klasse von Verbindungen, der Salze, berücksichtigte. Wie oben S. 147 besprochen worden ist, entsteht ein Salz, wenn eine Säure mit einer Basis zusammentrifft. Man hat nun die Elemente eingeteilt in solche, welche vorzüglich Basen zu bilden imstande sind und hat sie Metalle genannt, weil die seit den ältesten Zeiten bekannten Metalle, das Eisen, das Zink, das Blei, das Kupfer ꝛc., zu dieser Klasse von Elementen gehören, und den Metallen diejenigen Elemente gegenüber gestellt, welche keine Basen erzeugen,

deren Verbindungen dagegen, soweit sie Wasserstoff enthalten, Säuren sind. Diese Elemente bezeichnet man als Nichtmetalle.

Zu der letzteren Klasse gehören vier Elemente, deren Verbindungen mit Wasserstoff allein schon Säuren sind, deren Verbindungen mit Metallen demnach zu den Salzen gehören. Diese

der Elemente.

Stickstoff	?	Sauerstoff	?	Fluor	?				
Phosphor	2,3	Schwefel	2,04	Chlor	1,38	Eisen	7,8	Kobalt	8,5
Vanadin	5,5	Chrom	6,8	Mangan	8,0	Nickel	8,8	Kupfer	8,8
Arsen	5,67	Selen	4,6	Brom	2,97	Ruthen	12,26	Rhodium	12,1
Niob	6,27	Molybdän	8,6		—	Palladium	11,5	Silber	10,5
Antimon	6,7	Tellur	6,27	Jod	4,95		—		—
Didym	6,5	Terbium	?	Samarium	?		—		—
Erbium	?		—		—	Osmium	22,48	Iridium	22,4
Tantal	10,8	Wolfram	19,3		—	Platin	21,50	Gold	19,3
Wismuth	9,82		—		—				
	—	Uran	18,3		—				

vier Elemente sind Fluor (Fl), Chlor (Cl), Brom (Br) und Jod (J). Man nennt daher diese vier Elemente, die beiläufig bemerkt dem Wasserstoff und den Metallen gegenüber einwertig sind, Salzbilder, Halogene oder auch Haloide (von dem griechischen Wort „Hals" Salz abgeleitet). Alle übrigen Nichtmetalle vermögen mit Wasserstoff allein keine Säuren, mit Metallen allein keine Salze zu bilden. Dagegen sind ihre Sauerstoffverbindungen, soweit dieselben zugleich Wasserstoff enthalten, Säuren. Zu diesen Elementen gehören, abgesehen vom Sauerstoff (O) der Schwefel (S), das Selen (Se), das Tellur (Te), ferner der Stickstoff (N), der Phosphor (P), das Arsen (As) und das Antimon (Sb = Stibium), dann der Kohlenstoff (C) und das Silicium oder Kiesel (Si). Selbstverständlich vermögen auch die Halogene sich mit Sauerstoff zu vereinigen, und diese Verbindungen sind, soweit sie auch noch Wasserstoff enthalten, ebenfalls Säuren.

Von den erwähnten Elementen bilden die Halogene eine kleine Gruppe einander sehr ähnlicher Elemente, in gleicher Weise umfassen die drei Elemente Schwefel, Selen, Tellur eine in sich geschlossene Gruppe einander sehr ähnlicher Stoffe, sie sind sämtlich dem Wasserstoff und den Metallen gegenüber zweiwertig, dem Sauerstoff gegenüber sechswertig, ihre Verbindungen mit denselben anderen Elementen besitzen außerordentlich große Ähnlichkeit in der chemischen Zusammensetzung, in ihrer äußeren Form, in ihrem Verhalten gegenüber anderen Stoffen u. s. w.

In gleicher Weise sind die drei Elemente Stickstoff, Phosphor und Arsen einander ähnlich, sie sind alle drei dem Wasserstoff gegenüber dreiwertig, dem Sauerstoff gegenüber hauptsächlich fünfwertig, und ihre Verbindungen mit denselben anderen Elementen zeigen sehr große Übereinstimmung miteinander.

Endlich sind auch die beiden letzten Elemente Kohlenstoff und Silicium, wenn auch nicht in gleich hohem Grade, so doch noch in erheblichem Maße einander ähnlich. Sie sind beide sowohl dem Wasserstoff wie dem Kohlenstoff gegenüber vierwertig ꝛc.

Unter den basenbildenden Elementen, den Metallen, zu denen alle anderen Elemente gehören, deren Anzahl also weit größer ist, von denen wir hier jedoch nur die wichtigsten erwähnen wollen, giebt es gleichfalls kleine in sich geschlossene Gruppen, deren Glieder sowohl in freiem Zustande wie namentlich in den Verbindungen überraschende Ähnlichkeiten miteinander zeigen. So ist die erste Gruppe, welche das Kalium, Natrium (Lithium, Cäsium, Rubidium) umschließt, schon frühzeitig mit einem besonderen Namen belegt worden. Man nannte nämlich die Hydrate dieser Metalle Alkalien, die Metalle selbst Alkalimetalle. Die Alkalien, welche sämtlich äußerst leicht in Wasser löslich sind, während die Hydrate aller übrigen Metalle sich schwer oder gar nicht darin lösen, sind die stärksten Basen, d. h. sie besitzen unter allen Hydraten das stärkste Bestreben sich mit Säuren zu Salzen zu vereinigen. Die daraus sich ergebenden

Konsequenzen werden wir später zu besprechen Gelegenheit haben.

An die Alkalimetalle schließen sich drei, einander äußerst ähnliche Metalle an, Barium, Strontium und Calcium, deren schwer wasserlösliche Hydrate den Namen alkalische Erden erhalten haben.

Außerdem sind noch folgende kleine Metallgruppen erwähnenswert: Magnesium, Zink und Cadmium; Kupfer, Quecksilber und Silber; Aluminium, Eisen, Chrom, Mangan, Kobalt und Nickel. Dabei muß jedoch hervorgehoben werden, daß die Metalle der sechsten und siebenten Gruppe der Tabelle von S. 162 namentlich Chrom und Mangan, welche dem Sauerstoff gegenüber sechs-, bez. siebenwertig sein können, d. h. welche imstande sind, zu je einem Atom sich mit 3 und $3^1/_2$ Atomen Sauerstoff zu verbinden, in diesen sehr sauerstoffreichen Verbindungen Säuren erzeugen, so sind chromsaure, mangansaure und übermangansaure Salze bekannt.

Chemische Verbindungen.

Auf den vorhergehenden Seiten haben wir die Eigenschaften der Elemente kennen gelernt und wollen nun betrachten, unter welchen Bedingungen dieselben sich zu chemischen Verbindungen vereinigen. Nach dem Vorhergehenden ist es einleuchtend, daß die Elemente sich stets miteinander nur nach ganz festen Gewichtsverhältnissen verbinden, daß also stets zwei Gewichtsteile Wasserstoff z. B. mit sechzehn Gewichtsteilen Sauerstoff zu Wasser sich vereinigen. Diese Erkenntnis, daß in einer jeden Verbindung die Bestandteile stets und unter allen Umständen in denselben Mengenverhältnissen vorhanden sind, haben die Chemiker erst nach langer Mühe durch die sorgfältigsten Untersuchungen gewonnen. Noch am Ende des vergangenen Jahrhunderts glaubte man, daß die Mengenverhältnisse der Bestandteile einer Verbindung sich nach der Menge der verwendeten

Elemente richten, so daß also, wenn wir recht viel Wasserstoff mit verhältnismäßig wenig Sauerstoff mischten und beide Stoffe zu Wasser sich vereinigen ließen, das erzeugte Wasser mehr Wasserstoff enthielte, als wenn wir es umgekehrt gemacht hätten.

Wir wissen aber jetzt mit aller Sicherheit, daß alle Bestandteile irgend einer zusammengesetzten Substanz stets in demselben Mengenverhältnis zu einander sich befinden, daß dieses Verhältnis unabänderlich ist, unter welchen Bedingungen auch die betreffende Substanz erzeugt worden sein mag. Wir wissen aber ferner, daß ein jedes Element in den verschiedensten Verbindungen, in denen es enthalten ist, nur in einer von seinem Atomgewicht abhängigen Menge enthalten sein kann, daß z. B. der Sauerstoff nur mit 16 Gewichtsteilen oder mit einem Vielfachen von 16 Gewichtsteilen (2×16, 3×16 ꝛc.) in irgend einer Verbindung vorkommen kann.

Unter welchen Umständen aber entstehen chemische Verbindungen? Ehe wir die verschiedenen Bedingungen besprechen, sei hier vorausgeschickt, daß nur dann an die Entstehung einer Verbindung, überhaupt nur dann an eine chemische Veränderung von irgend welchen Substanzen gedacht werden kann, wenn die Molekeln dieser Substanzen miteinander in unmittelbarste Berührung gelangen können. Beim Vermischen fester Körper miteinander findet eine derartige Berührung der Molekeln kaum oder doch nur in sehr unerheblichem Maße statt. Selbst wenn die festen Stoffe, die chemisch aufeinander einwirken sollen, in äußerst feingepulvertem Zustande miteinander vermischt werden, sind die einzelnen Pulverkörnchen voneinander viel zu weit entfernt, als daß eine molekulare Berührung ermöglicht würde. Die chemische Anziehungskraft wirkt aber ganz anders wie die Massenanziehung. Während letztere, wenn auch mit zunehmender Entfernung abnehmend, doch in jede Entfernung hin ihre Kraft äußert, wirkt die chemische Anziehung der Atome zu einander absolut nicht auf Entfernungen hin, sondern nur dann, wenn die Atome einander absolut nahe kommen können. Dieser Be-

dingung können sie jedoch erst genügen, wenn die Molekeln möglichst große Beweglichkeit besitzen, das heißt aber nichts anderes als: wenn die Substanzen, welche aufeinander wirken sollen, im flüssigen oder gasförmigen Zustande miteinander vermischt werden.

Diese Erfahrung ist so alt, daß schon im Mittelalter die Alchymisten den Satz aussprachen: „corpora non agunt nisi fluida", nur im flüssigen Zustande vermögen die Substanzen aufeinander chemisch zu wirken.

Bei den chemischen Veränderungen im weitesten Sinne müssen wir vor allem unterscheiden 1) die Entstehung von neuen Stoffen aus den Bestandteilen derselben, die Bildung der Stoffe, Synthese, und 2) die Zerlegung der Stoffe in ihre Bestandteile, die Analyse. Als besonderer Fall dieser beiden Arten chemischer Veränderungen ist die Darstellung von Verbindungen aus den Elementen und die Zersetzung der Verbindungen in die in ihnen enthaltenen Elemente zu betrachten.

Die Erzeugung von Verbindungen aus den Elementen gelingt in den meisten Fällen erst in höherer Temperatur, vorausgesetzt, daß wenigstens der eine der Bestandteile in flüssigem oder gasförmigem Zustand sich befindet. Es scheint allenthalben höhere Temperatur, das ist aber nichts anderes als intensivere Schwingungszustände der Molekeln, und wie wir jetzt hinzufügen können, der Atome innerhalb der Molekeln, der Umlagerung der Atome zu neuen Molekeln, d. h. zur Bildung von neuen Stoffen, in hohem Maße förderlich zu sein. Am leichtesten vereinigen sich je zwei Elemente zu einer Verbindung, wenn dieselben in der oben S. 163 gegebenen Tabelle möglichst weit in der Gruppeneinteilung voneinander entfernt sind. So vereinigt sich das Chlor schon bei gewöhnlicher Temperatur mit allen Metallen und mit denjenigen der ersten Gruppe, mit Natrium, Kalium, Rubidium, Cäsium unter Feuererscheinung. Aber das Chlor verbindet sich auch mit den meisten Nichtmetallen direkt, so mit Schwefel, Selen, Tellur, mit Phosphor, Arsen und An-

timon (mit den drei letzteren ebenfalls unter Feuererscheinung), dagegen nicht mit Sauerstoff, mit Stickstoff, mit Kohlenstoff, obwohl Chlorverbindungen dieser Elemente auf indirektem Wege dargestellt werden können.

Diese Eigentümlichkeit, daß von manchen Elementen Verbindungen untereinander indirekt, nicht aber direkt darstellbar sind, wird leicht verständlich, wenn wir das Wesen der chemischen Prozesse etwas eingehender betrachten. Das Chlor verbindet sich, wie uns bekannt ist, direkt mit Wasserstoff zu Salzsäure. Der chemische Vorgang bei dieser Vereinigung erhellt am klarsten, wenn wir die folgende chemische Gleichung zu grunde legen:

$$H{-}H + Cl{-}Cl = H{-}Cl + H{-}Cl,$$

Das heißt: je eine Molekel Wasserstoff tritt mit je einer Chlormolekel in Wechselwirkung. Sobald diese Molekeln unter geeigneten Bedingungen, d. i. in hoher Temperatur oder im Sonnenlicht, in nahe Berührung miteinander kommen, äußert sich die Anziehungskraft der Chloratome zu den Wasserstoffatomen. Nun aber ziehen sich die Wasserstoffatome in den Wasserstoffmolekeln, desgleichen die Chloratome in den Chlormolekeln gegenseitig an. Allein da die Anziehungskraft der Chloratome zu den Wasserstoffatomen größer ist, als die gegenseitige Anziehung der Chloratome und der Wasserstoffatome untereinander, so werden die Wasserstoffatome und ebenso die Chloratome voneinander losgerissen, um der größeren Kraft folgend sich so zu neuen Molekeln zusammenzuballen, daß je ein Chloratom an je ein Wasserstoffatom sich lagert und auf diese Weise zur Salzsäuremolekel sich umwandelt. Nehmen wir dagegen an, die Anziehungskraft der Chloratome zu den Wasserstoffatomen wäre nicht so groß, wie die Summe der Anziehungskräfte einerseits der Wasserstoffatome, andererseits der Chloratome zu einander, so würde selbstverständlich eine Umlagerung der Atome zu Salzsäuremolekeln unmöglich sein, Chlor würde sich direkt mit Wasserstoff nicht zu verbinden vermögen. Trotzdem können wir bei einfacher Überlegung uns denken, daß eine Verbindung beider

Elemente sofort erfolgen müßte, wenn es uns gelänge, nicht die Wasserstoffmolekeln mit Chlormolekeln, sondern die einzelnen Wasserstoffatome mit den Chlormolekeln zusammentreffen zu lassen. Wir wollen gleich ein richtiges Beispiel wählen. Wir haben oben erfahren, daß das Chlor mit Stickstoff sich direkt nicht zu vereinigen vermag, d. h. wenn wir Stickstoffmolekeln und Chlormolekeln zusammenbringen, findet keine Umlagerung der Atome zu neuen Molekeln statt, weil die Anziehungskraft der Stickstoffatome zu den Chloratomen nicht groß genug ist, um die gegenseitige Anziehung der Stickstoffatome in den Stickstoffmolekeln und zugleich die der Chloratome in den Chlormolekeln zu überwinden. Aber wenn wir Chlor in eine Salmiaklösung leiten, bildet sich die Verbindung Chlorstickstoff. Der Salmiak ist NH_4Cl, sobald je drei Chlormolekeln mit einer Salmiakmolekel zusammentreffen, geht folgende Umlagerung vor sich:

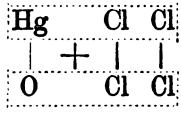
$$NH_4Cl + 3\,Cl{-}Cl = 4\,H{-}Cl + N{\equiv}Cl_3;$$

d. h. bei der großen Anziehungskraft, welche die Chloratome zu den Wasserstoffatomen besitzen, wird vor allem Salzsäure sich zu bilden bestrebt sein. Das ist aber nicht anders möglich, als daß im Salmiak die vier Wasserstoffatome, von denen eins mit dem Chloratom verbunden bleibt, die drei anderen mit drei Chloratomen sich zu vereinigen suchen, vom Stickstoffatom losgerissen werden; in gleicher Weise werden, um Salzsäure zu erzeugen, in je drei Chlormolekeln die Chloratome auseinander gesprengt, und nun haben wir für einen Augenblick einerseits ein freies Stickstoffatom, andererseits drei freie Chloratome, die nun sich zu vereinigen vermögen, da keine anderweitigen Anziehungskräfte zu überwinden sind.

Bei allen chemischen Veränderungen findet die Vereinigung zweier Elemente miteinander weit leichter statt, wenn diese Elemente im Augenblick des Freiwerdens aus einer anderen Verbindung zusammentreffen, in dem Augenblick also, wo dieselben noch als freie Atome, nicht als fertige Molekeln vor-

handen sind. Man bezeichnet diesen Moment als den Entstehungszustand, den status nascens. Als lehrreiche Beispiele für die große Fähigkeit der Elemente, sich miteinander zu vereinigen, sobald sie im Entstehungszustande sich befinden, mögen noch folgende dienen.

Das Chlor besitzt zum Sauerstoff sehr geringe Anziehungskraft, beide Elemente vermögen unter keinerlei Bedingung sich direkt miteinander zu verbinden. Wenn wir aber Chlorgas über Queckſilberoxyd (Hg O) leiten, so äußert sich die große Verwandtschaft des Chlors zum Queckſilber, da das Chlor mit allen Metallen sich sehr leicht verbindet, es wird also zunächst Chlorqueckſilber entstehen. Dadurch aber wird der Sauerstoff frei und im Entstehungsmoment vereinigt er sich mit dem Chlor, welches übrigens, wie aus folgender Gleichung erhellt, gleichfalls im Entstehungsmoment sich befindet:



Die aus zwei Chlormolekeln frei werdenden zwei Chloratome verbinden sich mit dem frei werdenden Sauerstoffatom zu Chloroxyd. Aber dieses Chloroxyd hat eine so geringe Beständigkeit, daß es durch Salzsäure sofort zerlegt wird, indem der Sauerstoff desselben mit dem Wasserstoff der Salzsäure zu Wasser sich vereinigt und freie Chlormolekeln entstehen läßt:

$$O\,Cl_2 + 2\,H\,Cl = H_2\,O + 2\,Cl_2.$$

Ferner sind wir nicht imstande, das Chlor direkt mit Kohlenstoff sich verbinden zu lassen. Gleichwohl vermögen wir eine sehr große Zahl von Chlorverbindungen des Kohlenstoffs darzustellen.

Bei der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs (C) ist die einfachste Wasserstoffverbindung desselben, diejenige, welche mit je einem Kohlenstoffatom je vier Wasserstoffatome enthält, $C\,H_4$, ein in Kohlenbergwerken vorkommendes und zuweilen zu ge-

waltigen Explosionen daselbst Veranlassung gebendes Gas, welches den Namen Grubengas führt. Läßt man dieses Gas mit Chlorgas gemischt im Sonnenlicht stehen, so bildet sich Salzsäure, dadurch wird für jede Molekel entstehender Salzsäure ein Chloratom frei, das seinerseits sich sofort mit dem Kohlenstoff verbindet, welcher durch das Abreißen eines Atoms Wasserstoff eine freie Anziehungskraft erhält und durch das Chloratom diese freie Anziehungskraft sättigt. Da nun der Prozeß der Salzsäurebildung langsam verläuft, so sind wir imstande, denselben in jedem Stadium zu unterbrechen, und wir können so eine Reihe von Verbindungen des Kohlenstoffs mit Chlor erhalten, in denen zugleich noch Wasserstoff vorhanden ist. So bildet sich zuerst aus je einer Molekel Grubengas und je einer Molekel Chlor je eine Molekel Salzsäure und das einfach gechlorte Grubengas:

$$CH_4 + Cl{-}Cl = CH_3Cl + HCl,$$

Aus je einer Molekel Grubengas und je zwei Chlormolekeln entsteht das zweifach gechlorte Grubengas

$$CH_4 + 2\,Cl{-}Cl = CH_2Cl_2 + 2\,HCl,$$

bei Anwendung von je drei Molekeln Chlorgas entsteht das dreifach gechlorte Grubengas, welches das bekannte, auf anderem Wege leichter darstellbare Chloroform ist,

$$CH_4 + 3\,Cl{-}Cl = CHCl_3 + 3\,HCl$$

erst wenn je 4 Molekeln Chlor auf eine Molekel Grubengas zur Anwendung kommen, verbinden sich alle vier Wasserstoffatome des Grubengases mit vier Chloratomen und es entsteht ein freies Kohlenstoffatom, welches mit den 4 anderen Chloratomen aus den vier Chlormolekeln sich vereinigt,

$$CH_4 + 4\,Cl{-}Cl = CCl_4 + 4\,HCl.$$

Kehren wir nach dieser Abschweifung, welche uns später noch einmal beschäftigen wird, weil sie uns einen tiefen Einblick in die Ursachen chemischer Veränderung gewährt, zu unserem Gegenstand zurück. Wir haben oben gesehen, daß das Chlor sich mit fast allen Elementen direkt zu vereinigen vermag. Diese Ver-

einigung erfolgt selbstverständlich nach Maßgabe der Wertigkeit der verschiedenen Elemente. So werden außer dem Wasserstoff alle Elemente der ersten Gruppe der oben S. 162 aufgestellten Tabelle sich mit je 35,5 Gewichtsteilen, mit einem Atom Chlor vereinigen, die zweiwertigen Elemente zu je einem Atom mit zwei Chloratomen verbinden u. s. w. Jedoch nur in verhältnismäßig wenigen Fällen werden wir die Chlorverbindung irgend eines Elements durch direkte Einwirkung des Chlors auf das betreffende Element darstellen. So wird es niemandem in den Sinn kommen, etwa Chlornatrium in größerem Maßstabe durch Überleiten von Chlorgas über Natriummetall bereiten zu wollen, die Natur liefert uns im Steinsalz und in den Salzsoolen so enorme Quantitäten Chlornatrium, daß wir lediglich das fertig gebildete Chlornatrium, allenfalls nach vorhergehender Reinigung, benutzen werden. Ferner werden wir auch die Chlorverbindungen der meisten Metalle nicht auf diesem Wege bereiten. Die Chlormetalle sind ja Salze, und alle Salze können durch Zusammenbringen der Basis, d. h. des Metallhydrats oder Metalloxyds, mit der Säure, in unserem Falle Salzsäure dargestellt werden. Wir werden demnach zur Darstellung der Chlorverbindungen durch Vereinigung von Chlor mit einem anderen Element nur dann unsere Zuflucht nehmen, wenn uns entweder kein anderer Weg zur Verfügung steht, oder wenn diese Methode die bequemste ist. So stellen wir die Verbindungen des Chlors mit Schwefel, Selen, Tellur, mit Phosphor und Arsen, und endlich mit den Edelmetallen Gold und Platin nach dieser Methode dar.

Genau wie das Chlor verhält sich das Brom und fast ebenso das Jod. Es ist nicht nötig, die Herstellung der Verbindungen dieser Elemente noch ausführlich zu besprechen; für sie gilt das oben für Chlor Auseinandergesetzte.

Der Sauerstoff vereinigt sich bei gewöhnlicher Temperatur mit keinem anderen Element, wenn er in trockenem Zustande zur Verwendung kommt. Dagegen ist er bei höherer

Temperatur imstande, mit fast sämtlichen Elementen sich zu verbinden. Bei vielen Elementen findet diese Vereinigung unter so großer Wärmeentwickelung statt, daß es genügt, einen kleinen Teil desselben zu erhitzen, um die Vereinigung der ganzen Masse und meist unter Lichterscheinung zu bewirken. Von solchen Elementen sagen wir, sie sind brennbar. Was wir nämlich im gewöhnlichen Leben Brennbarkeit einer Substanz nennen, ist nichts anderes als die Fähigkeit derselben, sich leicht und unter starker bis zur Lichterscheinung sich steigernder Wärmeentwickelung mit dem Sauerstoff der Luft zu verbinden. „Der Wasserstoff ist brennbar" heißt nichts anderes, als: wenn wir einen kleinen Teil Wasserstoff bis zum Glühen erhitzen, dadurch, daß wir eine brennende Kerze, also einen äußerst heißen Gegenstand mit ihm in Berührung bringen, so vereinigt sich der erhitzte Teil mit dem in seiner unmittelbaren Nähe befindlichen Luftsauerstoff. Durch diesen chemischen Prozeß wird aber wiederum eine so beträchtliche Wärme erzeugt, daß der nachströmende Wasserstoff sofort ebenfalls zum Glühen erhitzt und dadurch seinerseits befähigt wird, sich mit dem ihn umgebenden Luftsauerstoff zu vereinigen. Wenn wir daher Wasserstoff durch Zink und Schwefelsäure oder auf sonst einem Wege erzeugen, durch eine Röhre in die Luft strömen lassen und einen glühend heißen Gegenstand mit ihm in Berührung bringen, so entzündet sich der Wasserstoff und brennt, so lange Sauerstoff noch vorhanden ist, mit dem er sich verbinden kann. Die Wärmemenge, welche ein Gramm brennenden Wasserstoffs erzeugt, ist so groß, daß sie 34 000 Gramm Wasser um einen Grad zu erwärmen im stande ist, der Wasserstoff entwickelt beim Verbrennen 34 000 Wärmeeinheiten. Wenn wir Wasserstoff (2 Volumina) und Sauerstoff (1 Volumen) miteinander mischen und nur einen sehr kleinen Teil des Gemisches zum Glühen erhitzen, indem wir den elektrischen Funken hindurchschlagen lassen, so findet die Vereinigung des sämtlichen Wasserstoffs mit dem Sauerstoff und zwar in fast unmeßbar kurzer

Zeit statt und mit gewaltiger Energie, unter so starker Wärmeentwickelung, daß durch die plötzliche Ausdehnung des Gases (infolge der starken Erhitzung) eine äußerst heftige Explosion unter betäubendem Knall entsteht. Man hat deshalb auch ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff als Knallgas bezeichnet.

Desgleichen verbrennt z. B. die Kohle, weil sie sich leicht und unter starker Wärmeentwickelung mit dem Sauerstoff verbindet, sobald sie zum Glühen erhitzt worden ist. Auch hier ist es nur nötig, einen kleinen Teil der Kohle bis zum Glühen zu erhitzen, denn durch die Wärmeentwickelung, welche durch die Vereinigung dieses Teiles der Kohle mit dem Sauerstoff eintritt, werden die Nachbarteile bis zur Glühhitze erwärmt und dadurch fähig, ihrerseits ebenfalls sich mit dem Sauerstoff zu verbinden, bis schließlich die Gesamtmasse der Kohlen zum Glühen kommt. Bekanntlich benutzen wir die Wärmeentwickelung, die durch das Verbrennen von Kohlen, d. h. also durch die Vereinigung der Kohlen mit dem Luftsauerstoff, eintritt, ausschließlich im täglichen Leben als Wärmequelle, zum Heizen der Zimmer, zum Kochen der Speisen, zu den verschiedensten gewerblichen Zwecken ꝛc.

Bei der Wichtigkeit, welche die Verbrennung der Körper an der Luft für unser tägliches Leben besitzt, wollen wir gerade diese etwas näher betrachten. Wie bereits erwähnt, ist es lediglich der Luftsauerstoff, welcher die Verbrennung der brennbaren Stoffe unterhält. Da nun unsere Atmosphäre nur zu etwa $^1/_5$ aus Sauerstoff, zu $^4/_5$ dagegen aus Stickstoff besteht und letzterer in keiner Weise an der Verbrennung der Körper sich beteiligt, so ist es klar, daß alle brennbaren Stoffe in reinem Sauerstoffgase mit viel größerer Energie verbrennen, als in der gewöhnlichen Luft, denn in der Luft wird ein erheblicher Teil der durch die Verbrennung erzeugten Wärme zur Erhitzung der großen Masse des darin vorhandenen Stickstoffs verbraucht.

Aber auch in der Art, wie die verschiedenen Körper verbrennen, sind leicht große Unterschiede wahrzunehmen. Manche

Körper, wie z. B. der Wasserstoff, der Schwefel u. a. brennen mit bläulicher, kaum leuchtender Flamme, andere, wie Petroleum, Öl ꝛc. brennen mit stark leuchtender, ja sogar rußender Flamme, noch andere, wie die Holzkohle ꝛc. brennen ganz ohne Flamme. Woher kommen diese Unterschiede? Zunächst sei erwähnt, daß wenn Kohle verbrennt, sich stets die Verbindung von einem Atom Kohlenstoff mit zwei Atomen Sauerstoff bildet, CO_2, eine Verbindung, welche man mit dem nicht ganz passenden Namen Kohlensäure belegt hat.

Hierbei gilt als erster Grundsatz, daß mit Flamme alle diejenigen Stoffe verbrennen, welche bei der Verbrennungstemperatur, also in der starken Glühhitze, welche infolge der Verbrennung vorhanden ist, gasförmig sind. Alsdann nämlich kommt die gesamte aufsteigende Gassäule zu gleicher Zeit zur Verbrennung, und eine derartige brennende Gassäule nennen wir eben Flamme. Es verbrennt demnach nicht nur Wasserstoff, der schon bei gewöhnlicher Temperatur gasförmig ist, sondern auch Schwefel, Phosphor ꝛc. mit Flamme, weil diese Stoffe in hoher Temperatur gasförmig werden. Von unseren gewöhnlichen Brennstoffen verbrennt nur die Kohle ohne Flamme, weil der Kohlenstoff auch in der höchsten Temperatur, die wir hervorzubringen vermögen, nicht in den gasförmigen Zustand übergeht. Alle unsere sonstigen Brennstoffe, die wir teils als Heizmaterial, teils als Beleuchtungsmaterial verwenden, sind Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasserstoff und in vielen Fällen von Kohlenstoff mit Wasserstoff und wenig Sauerstoff. Die Verbrennung geht nun in der Weise vor sich, daß sowohl der Kohlenstoff wie der Wasserstoff sich mit Sauerstoff verbinden und zwar je ein Atom Kohlenstoff mit zwei Atomen Sauerstoff, um Kohlensäure zu bilden, und je zwei Atome Wasserstoff mit einem Atom Sauerstoff, um Wasser zu erzeugen. Da nun viele unserer Brennstoffe Sauerstoff bereits enthalten, wenn auch stets bei weitem weniger, als zur Bildung von Kohlensäure für sämtlichen darin enthaltenen Kohlenstoff und

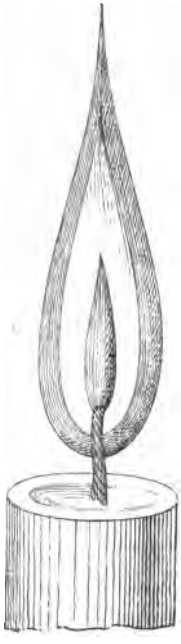
von Wasser für sämtlichen Wasserstoff erforderlich ist, so werden sie doch um so weniger Sauerstoff aus der Luft brauchen, je mehr sie davon bereits in sich enthalten. Ebenso ist es leicht zu verstehen, daß die durch die Verbrennung erzeugte Hitze um so geringer sein wird, je mehr der verbrennende Körper Sauerstoff bereits enthält und umgekehrt. Nun werden alle Kohlenstoffverbindungen, welche wir im gewöhnlichen Leben zur Verbrennung benutzen, bei hoher Temperatur in den gasförmigen Zustand übergeführt, zum Teil freilich, indem sie sich tiefgreifend zersetzen, folglich werden sie sämtlich *mit Flamme* verbrennen. Nur beim Holz und bei den Stein- und Braunkohlen, die keineswegs reine Kohle sind, findet bei hoher Temperatur eine Zersetzung in der Weise statt, daß neben gasförmigen Verbindungen Kohle selbst entsteht, so daß diese Brennmaterialien zuerst mit Flamme, zuletzt aber, wo nur die Kohle verbrennt, ohne Flamme brennen. Aber *alle* Kohlenstoffverbindungen zersetzen sich in der Flamme selbst, in welcher eine äußerst hohe Temperatur herrscht, in ihre elementaren Bestandteile, in Kohlenstoff und Wasserstoff, während der vorhandene Sauerstoff sowohl mit einem Teil des Kohlenstoffs Kohlensäure, wie mit einem Teil des Wasserstoffs Wasser bildet, welche beide gasförmig entweichen. Nur nach und nach gelangt aus der umgebenden Luft Sauerstoff in die Flammenregion, so daß nach und nach auch der frei gewordene Kohlenstoff und der Wasserstoff verbrennen können. Wenn nun der brennende Körper verhältnismäßig wenig Kohlenstoff enthält, so wird die geringe Menge frei werdenden Kohlenstoffs sehr bald genügend Sauerstoff finden, um sich mit demselben zu Kohlensäure vereinigen zu können. Wenn aber der brennende Körper reich an Kohlenstoff ist, so wird ein Teil des letzteren erst nach einiger Zeit genügende Mengen von Sauerstoff in der Flamme vorfinden, um sich mit demselben verbinden zu können. Dieser Anteil des in feinsten festen Partikelchen ausgeschiedenen Kohlenstoffs wird also einige Zeit in der Flammenregion unverbrannt verweilen müssen und in dieser Zeit bei der sehr hohen Temperatur der

Flamme sich bis zum Weißglühen erhitzen. Wir werden daher eine Flamme erhalten, welche mit weißglühenden festen Teilchen angefüllt ist, die Flamme wird dadurch **weißleuchtend.** Daß in der That unsere Leuchtflammen lediglich den in ihr schwebenden Kohlepartikelchen ihr Leuchten verdanken, können wir leicht daran erkennen, daß wir einen kalten Körper, etwa eine Porzellanschale, hineinhalten, die Schale beschlägt sich schnell mit Ruß, und der Ruß ist nichts anderes wie Kohle. Je mehr Kohlepartikelchen in der Flamme vorhanden sind, desto größer ist die Leuchtkraft der Flamme. Aber wenn die Flamme zu viele Kohlepartikelchen enthält, so können diese in der Zeit, welche sie zum Aufschweben brauchen, nicht verbrennen, weil der Zutritt von Luft zur Flamme nicht genügend ist, um zur Verbrennung hinreichende Mengen von Sauerstoff zu liefern. Alsdann gelangt ein mehr oder minder beträchtlicher Teil der Kohlepartikelchen unverbrannt aus dem Bereich der Flamme, die Flamme brennt rußend. Bis zu einer bestimmten Grenze können wir das Rußen der Flamme dadurch verhindern, daß wir einen kräftigen Luftzug erzeugen, so daß möglichst viele frische Luft zur Flamme gelangt. Als Beispiel dafür dient unser Petroleum, welches beim Verbrennen ziemlich stark rußt, aber dadurch, daß wir die Flamme mit einem Zylinder umgeben, zum nicht rußenden Brennen gebracht wird. Der Zylinder soll eben einen kräftigen Luftzug bewirken.

Wenn wir eine gewöhnliche Kerzenflamme (Fig. 56) genauer betrachten, so bemerken wir zunächst, wie das durch die strahlende Wärme der Flamme schmelzende Stearin sich in dem Docht in die Höhe zieht, wie alsdann um die dunkle Dochtspitze herum eine nicht leuchtende Zone sich befindet, welche von einem weißleuchtenden Mantel umgeben ist. Dieser weißleuchtende Mantel ist der Träger der Leuchtkraft der Flamme, aber er ist seinerseits wieder umgeben von einer ziemlich dünnen Hülle, einer bläulich, nicht leuchtend brennenden Schicht. Es wird uns nicht schwer werden, diese Erscheinung zu verstehen, wenn wir uns vergegen-

wärtigen, daß das Stearin der Kerze zunächst in den Gaszustand übergeführt wird. Der innere dunkle Kegel welcher das Ende des Dochtes umgiebt, enthält das vergaste Stearin. In diesem Kegel findet keine Verbrennung statt, es befindet sich in demselben gar keine Luft, d. h. Sauerstoff, um die Verbrennung zu vollziehen. Die die Verbrennung bewirkende Luft befindet sich in dem leuchtenden Mantel, in welchen sie aus der Umgebung eindringt. In dieser Leuchthülle findet auch die Hauptverbrennung statt, hier ist die Temperatur so hoch, daß das vergaste Stearin in seine elementaren Bestandteile sich zerlegt, in Kohlenstoff und Wasserstoff, während zugleich der in dem Stearin enthaltene Sauerstoff aus einem Teil des Wasserstoffs und Kohlenstoffs Wasser und Kohlensäure erzeugt. Der ausgeschiedene Kohlenstoff kommt zum Teil in dieser Region der Flamme zum Weißglühen und macht dieselbe leuchtend, während ein anderer Teil desselben verbrennt. Nun ist das Verbrennungsprodukt des Kohlenstoffs, wie wir oben erfahren haben, Kohlensäure. Aber wenn Kohlensäure mit glühender Kohle in Berührung kommt, so verwandelt sie sich in Kohlenoxyd (CO), folglich muß in der leuchtenden Region der Flamme, da die Bedingungen dazu gegeben sind, Kohlenoxyd entstehen. Aber sobald dieses die eigentliche Flammenregion verläßt, kommt es noch glühend heiß mit überschüssiger Luft in Berührung und verbrennt mit blauer Flamme. Der dünne mit blauem Licht brennende Mantel, welcher den leuchtenden Flammenkern umgiebt, ist nichts anderes als brennendes Kohlenoxyd.

Fig. 56.



Wie oben erwähnt worden ist, brennen unsere gewöhnlichen Beleuchtungsmaterialien nur darum mit leuchtender Flamme, weil der bei der hohen Temperatur der Flamme sich ausscheidende Kohlenstoff nicht schnell genug Sauerstoff findet, um sofort bei seiner Abscheidung zu verbrennen. Es liegt daher nach dieser Erkenntnis der Gedanke nahe, zu versuchen, ob es durch reichlichere Luftzufuhr gelingen würde, einer sonst leuchtend oder gar rußend brennenden Flamme sämtliche Leuchtkraft zu nehmen.

Fig. 57.

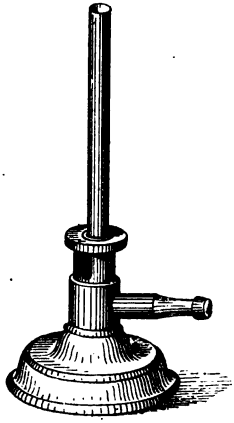
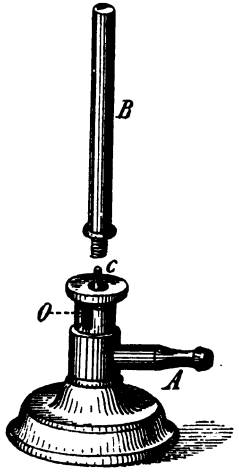


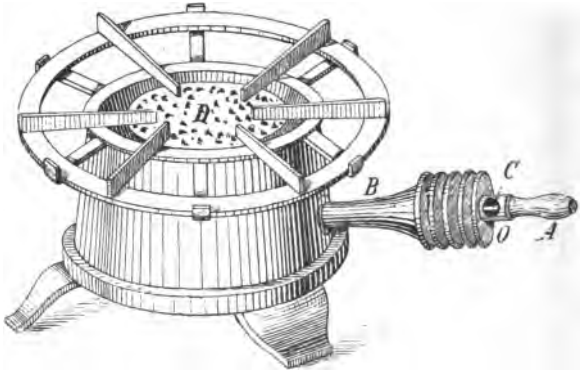
Fig. 58.



In der That hat schon vor längerer Zeit Bunsen dieses Problem auf einfachstem Wege dadurch gelöst, daß er unser Leuchtgas nicht direkt entzündete, sondern erst mit Luft mischte und dann brennen ließ. Die nach ihm genannten Gaslampen haben beistehende Form (Fig. 57) und zerfallen in die zwei Teile (Fig. 58). Das Leuchtgas strömt durch das Ansatzrohr A in den unteren Teil der Lampe und aus der kleinen runden Öffnung c in die Röhre B. Die, die Ausflußspitze c umgebende

Röhre besitzt zwei Öffnungen O. Durch das Heraufströmen des Leuchtgases wird durch diese Öffnungen Luft in die Röhre B gesogen. Die Luft mischt sich mit dem Leuchtgase, und wenn man das aus der oberen Öffnung der Röhre ausströmende Gemisch entzündet, brennt es mit bläulicher, nicht leuchtender Flamme. Solche nicht leuchtende Flammen werden zum Erhitzen irgend eines Gegenstandes benutzt, da sie selbstverständlich an dem kalten Gegenstande keinen Ruß (Kohle) absetzen. Deshalb sind unsere gebräuchlichen Gaskocher ebenso konstruiert (Fig. 59). Das Gas strömt durch das Ansatzrohr A und die kleine Öff-

Fig. 59.



nung c in die Röhre B, welche zwei Löcher O an der Stelle besitzt, wo c sich befindet, so daß die durch die Löcher O in die Röhre B eindringende Luft sich mit dem Gase mischen kann. Das Gemisch tritt aus der durchlöcherten Platte D und brennt, wenn es entzündet wird, mit nicht leuchtender bläulicher Flamme. —

Nachdem wir die zum Verständnis der alltäglich auftretenden Erscheinungen notwendige Auseinandersetzung der Vorgänge bei der Vereinigung der Elemente mit Sauerstoff etwas ausführlicher besprochen haben, können wir uns in bezug auf die

Entstehung der Verbindungen der übrigen Elemente untereinander kurz fassen.

Der Schwefel verbindet sich in höherer Temperatur mit fast allen Elementen direkt, namentlich mit den Metallen verbindet er sich leicht, und es sind die Schwefelmetalle darum von so hervorragender Wichtigkeit, weil dieselben von sehr vielen wertvollen Metallen fast die einzigen von der Natur uns dargebotenen Verbindungen der betreffenden Metalle sind. Die meisten wertvollen Erze sind Schwefelmetalle, und ihre Umwandlung in die Metalle selbst, die Verhüttung derselben geschieht meist in der Weise, daß sie an der Luft erhitzt, geröstet werden. Dadurch werden sie nämlich verbrannt, der Schwefel verbrennt, indem er sich mit je zwei Atomen Sauerstoff zu SO_2, sogenannter schwefliger Säure, vereinigt, welche man zur Darstellung von Schwefelsäure verwendet, während die Metalle selbst beim Rösten in Metalloxyde sich umwandeln. Die gerösteten Erze, d. h. also die Metalloxyde, werden darauf mit Kohle zusammen geglüht. Dabei verbindet sich die Kohle mit dem Sauerstoff der Metalloxyde zu Kohlensäure oder Kohlenoxyd, und das Metall wird frei.

Der Stickstoff zeichnet sich dadurch aus, daß er mit nur sehr wenigen anderen Elementen sich direkt und auch dann nur bei hoher Temperatur zu verbinden vermag, er ist vielleicht in bezug auf direkte Verbindungsfähigkeit das indifferenteste Element. Die dem Stickstoff nahestehenden Elemente Phosphor, Arsen und Antimon verbinden sich direkt mit Sauerstoff, mit den Halogenen (Chlor, Brom, Jod) und mit den Metallen, nicht aber mit dem Wasserstoff, obwohl die Wasserstoffverbindungen aller drei Elemente wohl bekannt sind. Kohlenstoff und Silicium endlich vereinigen sich direkt eigentlich nur mit Sauerstoff. Endlich vermögen fast alle Metalle sich miteinander zu verbinden, die so entstehenden Verbindungen behalten selbstverständlich die Metallnatur der Elemente und stehen in ihren Eigenschaften zwischen den sie zusammensetzenden Bestandteilen

Man bezeichnet die Metallverbindungen untereinander, welche stets durch Zusammenschmelzen der Bestandteile dargestellt werden und in den meisten Fällen nichts anderes als Lösungen des einen Metalls in dem anderen, ohne konstantes Verbindungsverhältnis sind, als Legierungen. Die Metallegierungen spielen in den Gewerben eine hervorragende Rolle, so ist die edle Bronze nichts anderes als eine Legierung von Kupfer und Zinn, die jetzt zur Herstellung von kunstgewerblichen Gegenständen gebräuchliche Bronze, das cuivre poli, eine Legierung von Kupfer und Zink, das sogenannte Neusilber eine Legierung von Kupfer, Zink und Nickel. Alle unsere Silber- und Goldgeräte sind Legierungen der erwähnten edlen Metalle mit Kupfer, und zwar ist in unseren Münzen auf je 9 Teile Edelmetall 1 Teil Kupfer enthalten, während die silbernen und namentlich die goldenen Geräte weit kupferreicher sind. Interessant ist, daß die Bezeichnung des Gehalts an Edelmetall bei unseren Gerätschaften bis vor ganz kurzer Zeit alten, längst verschollenen mittelalterlichen Gewichtssystemen entstammten. So berechnete man bei Silbergeräten den Silbergehalt nach der alten Mark, welche etwa 250 Grammen entsprach. Die Mark wurde ehedem in 16 Lote geteilt, und der auf den Geräten befindliche Stempel (12) bezeichnete das verwendete Silber als „zwölflötig", d. h. in jeder Mark, in je (16 Lot) der Legierung waren zwölf Lot Silber und vier Lot Kupfer enthalten, die Mischung bestand demnach aus $^3/_4$ Silber und $^1/_4$ Kupfer. Bei Goldgeräten ist ein noch älteres Gewichtssystem zu Grunde gelegt gewesen, freilich auch die Mark, aber zu einer Zeit, wo dieselbe noch nicht in 16 Lot, sondern in 24 Karate geteilt wurde, und man bezeichnete bis in die neueste Zeit den Goldgehalt eines Gerätes dadurch, daß man angab, wie viel Karate reines Gold in einer Mark der zu den Geräten verwendeten Legierung enthalten waren. Ein 14karätiges Gold ist ein solches, welches aus je 14 Teilen Gold und 10 Teilen Kupfer (zusammen 24 Teile = 1 Mark) besteht. —

Von allen Elementen bietet das meiste Interesse der Kohlenstoff, der trotz seiner geringen direkten Verbindungsfähigkeit eine unübersehbare Anzahl von Verbindungen zu bilden vermag und gerade dadurch ausgezeichnet ist, daß er der integrierendste Bestandteil, das Fundamentalelement aller jener Stoffe ist, welche die Träger des organischen Lebens, der Pflanzen- und der Tierleiber sind. Gerade der Kohlenstoff ist so sehr der grundlegende Bestandteil aller die Organismen zusammensetzenden Stoffe, daß man die Kohlenstoffverbindungen schlechtweg als organische Verbindungen bezeichnet hat. Schon seit den ältesten Zeiten hat man eine größere Anzahl von im Pflanzen- und Tierreiche vorkommenden Stoffen aus diesen in reinem Zustande zu isolieren vermocht, aber erst unserem Jahrhundert blieb es vorbehalten, nicht nur die Zusammensetzung dieser Verbindungen zu erforschen, nicht nur eine gewaltige Zahl neuer Stoffe aus den Pflanzen- und Tierleibern zu isolieren, nicht nur auf chemischem Wege aus den von der organischen Natur uns gelieferten Stoffen eine Anzahl neuer Verbindungen zu erzeugen, sondern vor allem zu zeigen, daß wir die von der Natur im Lebensprozeß der Pflanzen und Tiere gebildeten Stoffe zum großen Teil mit rein chemischen Mitteln auf künstlichem Wege nachzumachen vermögen. Außerdem ist es gelungen, die nach vielen Tausenden zählenden Substanzen in ein einfaches, leicht verständliches System zu bringen, so daß wir mit leichter Mühe sie zu erkennen und ihre Entstehung zu erklären imstande sind. Als man anfing, die organischen Stoffe isolieren und ihre Zusammensetzung ermitteln zu können, da versuchte man auch, sie künstlich darzustellen, aber selbstverständlich zunächst ohne Erfolg. Man schob nun die Erfolglosigkeit der Versuche nicht auf das eigene Unvermögen, nicht darauf, daß man die Bedingungen zu ihrer Entstehung nicht kannte und darum auch nicht einhalten konnte, sondern man nahm an, in der Natur wirke eine geheimnisvolle Kraft, die Lebenskraft, welche uns selbstverständlich bei unseren Arbeiten im Laboratorium nicht zur Verfügung

stehe, und welche uns für alle Zeiten hindern werde, die von der Natur mit Hilfe dieser Lebenskraft erzeugten Stoffe aus den Elementen herzustellen. Viel Geist und viele Arbeit sind zur Auffuchung dieser Lebenskraft vergeudet worden, und wie bereits oben S. 102 erwähnt worden ist, glaubte auch Galvani bei seinem so berühmt gewordenen Froschschenkelversuch eine Äußerung der Lebenskraft vor sich zu sehen. Mit dem Tage aber, an welchem es gelang, eine organische Verbindung aus unorganischen Stoffen herzustellen, schwand auch die Annahme einer geheimnisvollen Lebenskraft, und es gebührt einem deutschen Chemiker, Friedr. Wöhler, das Verdienst, diese Schranke freier Forschung niedergelegt zu haben. Wöhler hat eine im tierischen Organismus entstehende Verbindung, die im Harn der Tiere sich vorfindet, den sog. Harnstoff, auf künstlichem Wege gewonnen. Seit jener Zeit sind die verschiedensten organischen Substanzen künstlich erzeugt worden, und es hat sich allmählich eine klare Anschauung herausgebildet, die auf den folgenden Seiten entwickelt werden soll und die uns gestattet, die Natur einer Substanz in vielen Fällen aus ihrer Zusammensetzung zu erkennen und umgekehrt.

Von den einfachsten Kohlenstoffverbindungen ausgehend hat man gefunden, daß fast alle Veränderungen, welche die organischen Stoffe, mögen dieselben im Organismus der Pflanzen- oder Tierwelt durch den Lebensprozeß erzeugt oder im Laboratorium des Chemikers dargestellt worden sein, durch chemische Angriffsmittel erleiden, in einfacher Weise sich deuten lassen durch die Annahme, daß ein jedes Atom Kohlenstoff vierwertig sei, d. h. die Fähigkeit besitze, vier Atome eines oder verschiedener einwertiger Elemente, zwei Atome zweiwertiger Elemente ꝛc. an sich zu binden, und daß ferner gerade dem Kohlenstoff in hohem Maße die Eigenschaft zukomme, daß je zwei oder mehr Atome sich gegenseitig mit einem Teile ihrer vier Anziehungskräfte binden, so daß der übrig bleibende Teil zur Bindung anderer Elemente disponibel bleibt.

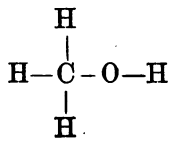
Wir wollen durch einige Beispiele diesen Satz erläutern. Ein Kohlenstoffatom vermag sich mit vier Wasserstoffatomen zu vereinen, um die Verbindung CH_4 zu liefern, in gleicher Weise aber auch vier Chloratome anzuziehen, um die Verbindung CCl_4 zu bilden. Mit vier Bromatomen vermag dasselbe eine Verbindung CBr_4, mit vier Jodatomen eine Verbindung CJ_4 zu erzeugen. Jedoch ist es auch klar, daß ein Kohlenstoffatom drei Wasserstoffatome und ein Chloratom zu binden vermag, ebenso zwei Wasserstoffatome und zwei Chloratome, ein Wasserstoffatom und drei Chloratome, so daß die Verbindungen CH_3Cl, CH_2Cl_2, $CHCl_3$ entstehen, statt des Chlors kann Brom oder Jod, Atom für Atom in der Verbindung enthalten sein, und wir würden, wenn wir vorläufig nur die vier einwertigen Elemente Wasserstoff (H), Chlor (Cl), Brom (Br) und Jod (J) ins Auge fassen, schon zu der stattlichen Zahl von nicht nur möglichen, sondern thatsächlich fast durchweg dargestellten Verbindungen gelangen:

1. CH_4; 2. CCl_4; 3. CBr_4; 4. CJ_4; 5. CH_3Cl; 6. CH_3Br; 7. CH_3J; 8. CH_2Cl_2; 9. CH_2Br_2; 10. CH_2J_2; 11. $CHCl_3$; 12. $CHBr_3$; 13. CHJ_3; 14. CH_2ClBr; 15. CH_2ClJ; 16. CH_2BrJ; 17. $CHCl_2Br$; 18. $CHClBr_2$; 19. $CHCl_2J$; 20. $CHClJ_2$; 21. $CHBr_2J$; 22. $CHBrJ_2$; 23. $CHClBrJ$; 24. CCl_3Br; 25. CCl_2Br_2; 26. $CClBr_3$; 27. CCl_3J; 28. CCl_2J_2; 29. $CClJ_3$; 30. CBr_3J; 31. CBr_2J_2; 32. $CBrJ_3$; 33. CCl_2BrJ; 34. $CClBr_2J$; 35. $CClBrJ_2$.

In allen diesen Fällen sind mit dem einen vierwertigen Kohlenstoffatom vier Atome einwertiger Elemente vereinigt. Allein ebenso gut können an die Stelle von vier Atomen einwertiger Elemente zwei Atome zweiwertiger Elemente, wie des Sauerstoffs und des Schwefels mit einem Kohlenstoffatom verbunden sein, so daß wir zu Verbindungen CO_2 (d. i. die allgemein bekannte Kohlensäure), CS_2 (d. i. der in den Gewerben vielfach benutzte Schwefelkohlenstoff) oder endlich COS, also einer Substanz, welche uns die vier Affinitäten des Kohlenstoffatoms

durch zwei Affinitäten eines Sauerstoff- und zwei Affinitäten eines Schwefelatoms gesättigt zeigt, gelangen. Aber die Variation wird noch viel größer, wenn wir berücksichtigen, daß die vier Anziehungskräfte des Kohlenstoffatoms zum Teil durch einwertige und zum Teil durch zweiwertige Elemente aufgehoben werden können, so daß auch Verbindungen wie CH_2O, CH_2S, CCl_2O und CCl_2S ꝛc. existieren können. Endlich können auch dreiwertige Elemente mit dem Kohlenstoff vereinigt sein, mit einem Atom Kohlenstoff freilich nur dann, wenn zugleich mit diesem ein Atom eines einwertigen Elements verbunden ist, so z. B. der Stickstoff in den Verbindungen CHN (das ist die bekannte Blausäure), CClN, CBrN, CJN ꝛc.

Trotz der großen Mannigfaltigkeit an Verbindungen die ein Kohlenstoffatom enthalten, und welche durch die bisher betrachteten Fälle ihre Entstehung nehmen können, haben wir nur einen geringen Bruchteil der thatsächlich vorhandenen Kohlenstoffverbindungen, deren Molekel 1 C besitzt, kennen gelernt. Denn abgesehen davon, daß eine beträchtliche Zahl der nach der Theorie möglichen Verbindungen bis jetzt noch nicht dargestellt worden sind, kennt man jetzt beiläufig mehrere hundert derartige Körper. Diese auf den ersten Blick etwas auffallende Thatsache wird leicht verständlich, wenn wir berücksichtigen, daß zwei- und mehrwertige Elemente auch mit nur einer Affinität mit dem Kohlenstoff verbunden sein können, während sie andererseits den Rest ihrer Affinitäten durch andere Elemente gesättigt haben. So kann, wie aus dem folgenden Schema ersichtlich ist, der Sauerstoff mit dem Kohlenstoff mit einer Anziehungskraft vereinigt sein und seine zweite Anziehungskraft durch ein Wasserstoffatom oder Natriumatom befriedigt haben:



derartige Verbindungen, die wir kürzer $CH_3(OH)$, $CH_3(ONa)$ schreiben können, sind gerade die wichtigsten, und wir wollen einige derselben hier entwickeln.

Schon die Verbindung CH_3OH selbst ist von hohem Interesse. Abgesehen davon, daß man sie, wenn auch auf indirektem Wege, künstlich darstellen kann, bildet sie sich beim Erhitzen von Holz neben vielen anderen Produkten und ist in der hauptsächlich aus Wasser bestehenden auf dem Holzteer aufschwimmenden Flüssigkeit, die man wegen ihres bedeutenden Gehalts (ca. 6 Proc.) an Essigsäure als Holzessig bezeichnet, enthalten und heißt Holzgeist. Sie ist dem gewöhnlichen Spiritus, dem Alkohol sehr ähnlich, wird darum auch als ein Alkohol (Methylalkohol) bezeichnet und dient jetzt vielfach zur Denaturierung des Spiritus.

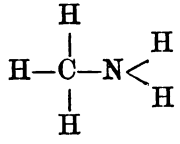
Ferner ist die Verbindung, welche an einem Kohlenstoffatom nur noch ein Wasserstoffatom direkt gebunden enthält, außerdem jedoch ein Sauerstoffatom mit dessen beiden Affinitäten und ein zweites Sauerstoffatom mit einer Affinität, so daß die zweite Affinität dieses letzteren durch ein Wasserstoffatom gesättigt ist,

wie aus folgendem Schema ersichtlich ist, $O{=}C(H){-}O{-}H$ oder $CHO(OH)$, eine vielfach in der Natur vorkommende Säure, die zuerst in den Ameisen aufgefunden und als Ameisensäure bezeichnet worden ist. Sie ist auch die Substanz, welche in den Brennnesseln enthalten diesen die bekannte Eigentümlichkeit, auf der Haut brennende und blasenziehende kleine Wunden zu erzeugen, verleiht. In den großen Waldameisen ist sie in ziemlich konzentriertem Zustande und in so großer Menge enthalten, daß man sie früher aus den Ameisen gewonnen hat, und daß man noch heute zuweilen durch Destillieren der Waldameisen mit verdünntem Spiritus den „Ameisenspiritus“ darstellt. Läßt man diese Ameisen über blaues Lakmuspapier laufen, so ziehen sie darauf rote Streifen.

Den erwähnten Sauerstoffverbindungen, welchen noch eine

größere Zahl zugefügt werden könnte, entsprechen Schwefelverbindungen, bei welchen statt des Sauerstoffs Schwefel vorhanden ist.

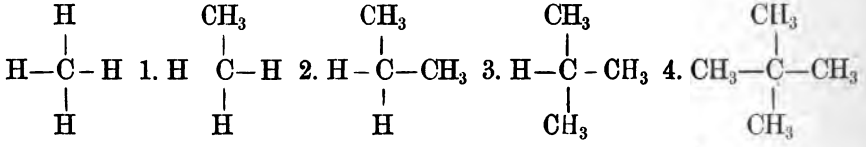
Ebenso wie der zweiwertige Sauerstoff mit einer Affinität an ein Kohlenstoffatom gebunden sein kann, sobald die zweite Affinität desselben durch irgend ein einwertiges Element gesättigt ist, kann auch der dreiwertige Stickstoff mit einer Affinität an Kohlenstoff gebunden sein, wenn seine beiden anderen Affinitäten durch andere Elemente, beispielsweise Wasserstoff, neutralisiert sind. So würden wir zu einer Verbindung



oder CH_3 (NH_2) gelangen. Wir erkennen sofort, daß diese Verbindung nichts anderes ist als Ammoniak NH_3, in welchem statt des einen Wasserstoffatoms ein Kohlenstoffatom, das seine drei weiteren Affinitäten durch Wasserstoff besetzt hat, getreten ist. Und in der That besitzt diese Verbindung noch vollkommen die Eigenschaften des Ammoniaks.

An diesen wenigen Beispielen sehen wir bereits die große Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung und selbstverständlich auch in den Eigenschaften der Verbindungen, welche ein einziges Kohlenstoffatom in der Molekel besitzen. Und doch ist die Zahl derselben sehr klein gegenüber der unübersehbaren Anzahl von Stoffen, in deren Molekel mehr als ein Atom Kohlenstoff enthalten ist. Wir haben oben gesehen, daß im Grubengas CH_4 ein Wasserstoffatom durch mehrwertige Elemente ausgetauscht sein kann (vorausgesetzt, daß die anderen Anziehungskräfte dieser mehrwertigen Elemente ihrerseits befriedigt sind). Wenn wir nun als ein derartiges mehrwertiges Element den Kohlenstoff selbst in Anwendung bringen, so wird es nach unseren bisherigen Erfahrungen kaum noch zweifelhaft sein, daß an die Stelle je eines

Wasserstoffatoms des Grubengases je ein Kohlenstoffatom, welches seine drei anderen Affinitäten anderweitig befriedigt hat, treten kann. Der einfachste Fall ist, daß die drei Affinitäten des Kohlenstoffatoms durch Wasserstoffatome gesättigt sind und daß diese Atomgruppe CH_3 für die einzelnen Wasserstoffatome des Grubengases an das C desselben tritt. Wir würden alsdann zu folgenden vier Verbindungen, die beiläufig bemerkt sämtlich bekannt sind, gelangen:



Verbindung 1 besteht aus 2 Atomen Kohlenstoff und 6 Atomen Wasserstoff und könnte deshalb auch kürzer C_2H_6 geschrieben werden; Verbindung 2 besteht aus 3 Atomen C und 8 Atomen H und kann C_3H_8 geschrieben werden; Verbindung 3 besteht aus 4 C und 10 H, ist demnach C_4H_{10}; endlich ist Verbindung 4, C_5H_{12}.

Man hat die Atomgruppe CH_3 welche außerordentlich häufig an Stelle eines Wasserstoffs in organische Verbindungen eingeführt werden kann, mit dem Namen Methyl belegt und wir können daher die Verbindung C_2H_6, die wir auch $CH_3.CH_3$ schreiben können, als methyliertes Grubengas oder auch als Dimethyl bezeichnen, die Verbindung C_3H_8 als zweifach methyliertes Grubengas, die Verbindung C_4H_{10} als dreifach methyliertes Grubengas u. s. f.

In jeder dieser lediglich aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehenden und darum als Kohlenwasserstoffe bezeichneten Verbindungen können die Wasserstoffe durch beliebige andere Elemente gerade so ausgetauscht werden, wie wir es beim Grubengas gesehen haben. Es sind darum die von diesen Kohlenwasserstoffen sich durch Ersetzung der Wasserstoffatome durch andere Elemente herleitenden Verbindungen weit zahlreicher, als

die vom Grubengas sich ableitenden und nur ein Kohlenstoffatom in der Molekel enthaltenden Verbindungen. Aber die an sich schon so sehr bedeutende Anzahl wird noch erheblich dadurch gesteigert, daß Verbindungen mit völlig verschiedenen Eigenschaften genau gleiche Zusammensetzung besitzen können, d. h. daß in ihnen dieselben elementaren Bestandteile und in derselben Quantität vorhanden sein können. Folgende zwei Beispiele mögen zur Erläuterung dienen.

Wenn in dem Dimethyl $CH_3 . CH_3$ zwei Wasserstoffatome durch zwei Chloratome ersetzt werden, so kann dieser Austausch sowohl in einem Methyl geschehen, so daß in diesem nur noch ein H vorhanden ist, während das zweite Methyl intakt bleibt und die Verbindung $CH_3 . CHCl_2$ resultiert, oder es können die beiden Chloratome für je ein H an jedes der beiden Kohlenstoffatome treten; an jedem Kohlenstoffatom bleiben dann noch 2 H zurück, und es resultiert die Verbindung $CH_2Cl . CH_2Cl$. Diese beiden Verbindungen $CH_3 . CHCl_2$ und $CH_2Cl . CH_2Cl$ sind völlig gleich zusammengesetzt, sie enthalten beide in der Molekel 24 Gewichtsteile (2 Atome) Kohlenstoff, 4 Gewichtsteile (4 Atome) Wasserstoff und 71 Gewichtsteile (2 Atome) Chlor, sie können beide durch das Symbol $C_2H_4Cl_2$ ausgedrückt werden, aber da in ihnen die Atome ungleich verteilt sind, müssen sie beide verschieden sein. Und gerade so wie Chlor, bewirkt jedes andere Element, sobald es zwei Wasserstoffatome des Dimethyls ersetzt, die Entstehung zweier gleich zusammengesetzter aber untereinander verschiedener Verbindungen. Wenn statt der zwei Chloratome ein Sauerstoffatom für zwei H des Dimethyls in die Molekel eintritt, so kann entweder die Verbindung $CH_3 . CHO$ oder die Verbindung $CH_2—CH_2$ entstehen.

$$\diagdown\!\!\diagup \\ O$$

In dem zweifach methylierten Grubengas giebt schon der Austausch eines einzigen Wasserstoffatoms gegen irgend ein anderes Element Veranlassung zur Entstehung zweier verschie-

dener Verbindungen. Denn jenachdem in dem zweifach methylierten Grubengas, welches wir kürzer $CH_3.CH_2.CH_3$ schreiben können, ein H eines der beiden Methyle oder ein H von dem mittleren Kohlenstoffatom beispielsweise durch Chlor ersetzt wird, resultieren die beiden Verbindungen $CH_3.CH_2.CH_2Cl$ oder $CH_3.CHCl.CH_3$, beide C_3H_7Cl zusammengesetzt und untereinander verschieden. Und wenn in dem Kohlenwasserstoff $CH_3.CH_2.CH_3$ zwei Wasserstoffatome durch zwei Atome eines anderen einwertigen Elements, z. B. Chlor, oder durch ein Atom eines zweiwertigen Elements, z. B. Sauerstoff, ersetzt sind, so sind schon vier verschiedene Verbindungen möglich:

1) Zwei Wasserstoffatome eines Methyls sind ersetzt, z. B. $CH_3.CH_2.CHCl_2$.

2) Die beiden Wasserstoffatome am mittleren Kohlenstoffatom sind ausgetauscht, z. B. $CH_3.CCl_2.CH_3$.

3) Je ein Wasserstoffatom der beiden Methyle ist durch Chlor vertreten: $CH_2Cl.CH_2.CH_2Cl$.

4) Ein Wasserstoffatom eines Methyls und ein H am mittleren Kohlenstoffatom sind ersetzt: $CH_3.CHCl.CH_2Cl$.

Alle diese Verbindungen sind auch bekannt, und wir begreifen leicht, wie ausnehmend groß die Anzahl derartiger Verbindungen sein muß, sobald in der Molekel eine größere Zahl von Kohlenstoffatomen enthalten ist.

Denn mit der Ersetzung der vier Wasserstoffatome im Grubengas durch vier Methyle ist keineswegs die Grenze derjenigen Verbindungen, in welchen lediglich Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten sind, erreicht, vielmehr können in jedem der oben erwähnten Kohlenwasserstoffe, sowohl im C_2H_6, wie im C_3H_8, wie im C_4H_{10} und im C_5H_{12} wiederum die Wasserstoffatome durch Methyl (CH_3) ausgetauscht werden, und die daraus resultierenden Verbindungen, von denen namentlich in den höheren Reihen viele zwar gleich zusammengesetzt, jedoch untereinander verschieden sind, vermögen ihrerseits den Wasserstoff durch Chlor, Brom, Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff ꝛc. austauschen zu lassen.

Und bei der so ins Ungeheure anschwellenden Zahl von Verbindungen haben wir doch bis jetzt nur erst eine Klasse kennen gelernt.

Es können nämlich auch zwei Wasserstoffatome des Grubengases durch ein Kohlenstoffatom, welches seinerseits seine beiden anderen Affinitäten durch andere Elemente (z. B. Wasserstoff) gesättigt hat, ersetzt werden, so daß wir zu einer Verbindung $CH_2.CH_2$ gelangen. In dieser können aber selbstverständlich die Wasserstoffatome wieder ausgetauscht werden, und wenn wir nur den einen Fall betrachten, daß die vier H nacheinander durch Methyle ersetzt werden, so gelangen wir zu den Verbindungen $CH_2.CH\,CH_3 = C_3\,H_6$; $CH_2.C(CH_3)_2 = C_4\,H_8$ oder $CH(CH_3).CH(CH_3) = C_4\,H_8$; $CH(CH_3).C(CH_3)_2 = C_5\,H_{10}$. $C(CH_3)_2.C(CH_3)_2 = C_6\,H_{12}$. Es braucht kaum erwähnt zu werden, daß in den so entstehenden Verbindungen die Wasserstoffatome abermals austauschbar sind gegen Chlor, Sauerstoff, gegen Methyl ꝛc. ꝛc.

Ferner können drei Wasserstoffatome des Grubengases durch ein Kohlenstoffatom, welches nur noch ein H anderweitig enthält, ersetzt werden, so daß die Verbindung $CH.CH = C_2\,H_2$ resultiert. Aus dieser können aber wiederum eine außerordentlich große Zahl von anderen Verbindungen hergestellt werden, z. B. $CH.C(CH_3)$ und $C(CH_3).C(CH_3)$ ꝛc.

Aber gerade diese letztere Verbindung CH. CH, welche, beiläufig bemerkt, gasförmig und in unserem Leuchtgas enthalten ist, besitzt eine Eigenschaft, welche sie von hohem Interesse für die Chemie werden ließ. Es vermögen nämlich, namentlich bei sehr hoher Temperatur, je drei Molekeln derselben zu einer einzigen Molekel sich zusammen zu ballen, so daß die komplexere Verbindung $C_6\,H_6$ (gleich dreimal $C_2\,H_2$) entsteht. Auf diese letztere werden wir bald zurückzukommen haben. Zunächst wollen wir hier einen anderen Punkt besprechen, wie es nämlich möglich geworden ist, über die fast ins Unendliche sich steigernde Zahl von Verbindungen doch in einfachster und verständlichster Weise eine klare Übersicht zu gewinnen.

Fassen wir nämlich die oben S. 191 kennen gelernten Verbindungen, welche vom Grubengas durch Austausch je eines Wasserstoffatoms durch Methyl entstehen, noch einmal zusammen, so haben wir

$$CH_4,\ C_2H_6,\ C_3H_8,\ C_4H_{10},\ C_5H_{12}$$

als aus einander darstellbar kennen gelernt. Berücksichtigen wir ferner, daß in den so entstandenen Verbindungen abermals die Wasserstoffatome durch Methyl ersetzbar sind, daß statt eines H ein CH_3 in die Verbindung eintritt, so muß die neue Substanz durch den Mehrgehalt von einem Kohlenstoff- und zwei Wasserstoffatomen von ihrer Mutterstubstanz sich unterscheiden. Bei dem Aufbau der ganzen Reihe wächst ein jedes Glied um den Atomkomplex CH_2, und da das erste Glied der Reihe, das Grubengas neben CH_2 noch 2 H enthält, so muß ein jedes Glied aus irgend einer Anzahl Kohlenstoffatome, sagen wir n C, und doppelt so vielen und noch zwei Wasserstoffatomen, aus $2nH+2H$, zusammengesetzt sein, so daß die Zusammensetzung sämtlicher Glieder der Reihe durch das allgemeine Symbol C_nH_{2n+2} ausgedrückt werden kann. Alle Glieder der Reihe sind einander sehr ähnlich. Zwar sind die niedrigsten Glieder bei gewöhnlicher Temperatur Gase, die höheren Glieder Flüssigkeiten, deren Kochpunkt um so höher liegt, je mehr Kohlenstoffatome in der Molekel sie enthalten, und die noch höheren Glieder bei gewöhnlicher Temperatur feste Körper, die um so schwerer schmelzen, je komplexer ihre Molekel ist, aber das sind auch ihre hauptsächlichsten Unterschiede. Im Übrigen gleichen sie sich vollständig. Beiläufig sei bemerkt, daß vom Grubengas bis zur Verbindung C_5H_{12} (man nennt diese schlechtweg Quintan) die einzelnen Glieder gasförmig, von C_6H_{14} (Hexan) bis $C_{20}H_{42}$ flüssig, die höheren fest sind. Die mittleren (flüssigen) Glieder der ganzen Reihe bilden den Hauptbestandteil unseres Petroleums, die höheren Glieder den des Paraffins. Sie sind sämtlich leicht entzündlich, brennen mit mehr oder minder leuchtender Flamme (selbstverständlich indem sie sich mit dem Sauerstoff der Luft

vereinigen und Kohlensäure und Wasser liefern), sind unlöslich in Wasser und leichter als dieses, so daß sie darauf schwimmen, und werden nur schwer in andere Verbindungen übergeführt. Man bezeichnet die ganze Reihe als gesättigte Kohlenwasserstoffe oder als Paraffine.

Dieser Kohlenwasserstoffreihe entspricht eine zweite Reihe von Verbindungen, welche sich von der S. 194 erwähnten Verbindung $CH_2.CH_2$ genau in derselben Weise ableitet, wie die Paraffine vom Grubengas, nämlich dadurch, daß irgend ein Wasserstoffatom eines Gliedes derselben durch Methyl ersetzt wird und dadurch eine um ein Kohlenstoffatom und zwei Wasserstoffatome reichere Verbindung erzeugt wird. So können aus einander erzeugt werden:

$$C_2H_4,\ C_3H_6,\ C_4H_8,\ C_5H_{10},\ C_6H_{12},\ C_7H_{14}\ \text{ꝛc.}$$

eine Verbindungsreihe, deren jedes Glied genau doppelt so viel Wasserstoffatome enthält, als Kohlenstoffatome, die wir also, wenn wir die in der Molekel enthaltene Anzahl von Kohlenstoffatomen mit dem Buchstaben n bezeichnen, unter dem allgemeinen Symbol C_nH_{2n} zusammenfassen können. Diese Verbindungen besitzen große Ähnlichkeit mit den Paraffinen, sind wie jene leicht entzündlich, unlöslich in Wasser und leichter als Wasser, obwohl sie im allgemeinen etwas schwerer sind als die Paraffine, unterscheiden sich aber von diesen dadurch, daß sie sich leicht mit Chlor, Brom ꝛc. vereinigen und in Verbindungen übergehen, welche sich von den Paraffinen herleiten. Sie kommen ebenfalls im Petroleum vor und haben im allgemeinen denselben Aggregatzustand wie die Paraffine.

Ferner leitet sich wiederum von dem Kohlenwasserstoff CH. CH oder C_2H_2 eine Reihe von Verbindungen in gleicher Weise ab, nämlich durch Austausch von Wasserstoff gegen Methyl, und so entstehen Verbindungen, wie C_3H_4, C_4H_6, C_5H_8, C_6H_{10} C_7H_{12} ꝛc., d. h. Verbindungen, welche in der Molekel stets zwei Wasserstoffatome weniger enthalten, als die entsprechenden Glie-

der der vorhergehenden Reihe, und welche daher unter dem allgemeinen Symbol $C_n H_{2n-2}$ zusammengefaßt werden können.

Es giebt aber noch wasserstoffärmere Kohlenwasserstoffreihen, deren Besprechung hier zu weit führen würde.

Alle die Reihen, welche auf dieselbe Anzahl von Kohlenstoffatomen weniger Wasserstoffatome enthalten, als die entsprechenden Glieder der Paraffine nennt man *ungesättigte Verbindungen*. Sie können sämtlich leicht in gesättigte Verbindungen übergeführt werden.

Für den Haushalt der organischen Natur, ebenso für die Gewerbe sind von weit höherer Bedeutung, als die Kohlenwasserstoffe selbst, die von diesen sich herleitenden Sauerstoffverbindungen.

Wir haben oben S. 189 eine Substanz kennen gelernt, in welcher statt eines Wasserstoffatoms im Grubengas ein anderweitig noch mit einem H verbundenes Sauerstoffatom sich befindet, und welche Holzgeist genannt worden ist:

$CH_3 H$ ist Grubengas; $CH_3 (OH)$ ist Holzgeist. Es leuchtet ein, daß mit jedem Glied der von dem Grubengas sich herleitenden Kohlenwasserstoffe dieselbe Umwandlung sich vollziehen kann. Schon die vom Dimethyl $CH_3 . CH_3$ sich herleitende Verbindung $CH_3 . CH_2 OH$ ist der allbekannte, bei der Gährung zuckerhaltiger Körper entstehende *Weingeist*, Spiritus vini, jetzt als Spiritus schlechtweg bezeichnet. Der arabisch alchemistische Name Alkohol für den Spiritus ist dann übertragen worden auf die ganze Körperklasse, welche gleich dem Alkohol par excellence ein mit Wasserstoff verbundenes Sauerstoffatom an Stelle eines H in irgend einem Paraffin enthält. Die Alkohole sind meist Flüssigkeiten, die bei um so höherer Temperatur kochen, je mehr Kohlenstoffatome sie in der Molekel enthalten, nur diejenigen, welche mehr als 7 C enthalten, sind zuweilen bei gewöhnlicher Temperatur fest. Die Zusammensetzung dieser Alkohole ist sehr leicht zu berechnen, sobald man weiß, wie viel Kohlenstoffatome sie in der Molekel enthalten,

denn sie besitzen nur ein Atom Sauerstoff mehr, als die Kohlenwasserstoffe, können daher unter dem allgemeinen Symbol $C_n H_{2n+2} O$ zusammengefaßt werden, z. B. CH_4O, C_2H_6O, C_3H_8O, $C_4H_{10}O$, $C_5H_{12}O$, $C_6H_{14}O$ ꝛc. Dabei dürfen wir jedoch nicht vergessen, daß bei den kohlenstoffreicheren Gliedern der Reihe stets mehrere gleich zusammengesetzte, aber untereinander verschiedene Alkohole existieren müssen. So kennt man thatsächlich zwei Alkohole, welche C_3H_8O zusammengesetzt sind, vier Alkohole der Zusammensetzung $C_4H_{10}O$, acht Alkohole der Zusammensetzung $C_5H_{12}O$, und die Anzahl der gleich zusammengesetzten, untereinander aber verschiedenen Alkohole, steigt außerordentlich rasch mit Zunahme des Kohlenstoffgehalts. Erwähnt zu werden verdient, daß ein Alkohol C_3H_8O, ein solcher von der Zusammensetzung $C_4H_{10}O$, zwei Alkohole $C_5H_{12}O$ und wenigstens einer $C_6H_{14}O$ bei der Gährung zuckerhaltiger Flüssigkeiten neben dem eigentlichen Weingeist, wenn auch in geringer Menge, entstehen und demselben unangenehmen Geruch und Geschmack verleihen und wahrscheinlich auch die gesundheitschädlichen Wirkungen desselben in sehr beträchtlichem Maße erhöhen. Sie haben den gemeinschaftlichen Namen Fusel.

Es ist aber einleuchtend, daß in den höheren Kohlenwasserstoffreihen auch an zwei und mehr Kohlenstoffatomen sich je ein OH an Stelle eines H befinden kann und daß die so zusammengesetzten Verbindungen in ihren wesentlichsten Eigenschaften wie die bisher erwähnten Alkohole sich verhalten werden. Von diesen „mehrwertigen" Alkoholen seien hier nur wegen ihrer hervorragenden Wichtigkeit zwei erwähnt, das Glycerin und der Mannit. Das Glycerin ist ein Bestandteil aller Fette, über deren Natur wir bald Näheres erfahren werden, und wird daraus bei der Darstellung des Stearins, neuerdings auch bei der Darstellung von Seife, als Nebenprodukt gewonnen. Es enthält in der Molekel drei Kohlenstoffatome, acht Wasserstoffatome und drei Sauerstoffatome, ist also $C_3H_8O_3$ zusammengesetzt oder $CH_2(OH).CH(OH).CH_2(OH)$, d. h. bei ihm sind drei H

des Kohlenwasserstoffes $CH_3.CH_2.CH_3$ durch drei OH ausgetauscht. Der zweite Alkohol, der Mannit, ist der Hauptbestandteil des als Manna bezeichneten eingetrockneten Saftes, der bei zufälligen oder absichtlichen Verwundungen der in Südeuropa kultivierten Mannaesche ausfließt, und ist ein fester süßschmeckender Körper, welcher in naher Beziehung zu den verschiedenen Zuckerarten steht und in der Molekel sechs Kohlenstoffatome, vierzehn Wasserstoffatome und sechs Sauerstoffatome enthält, $C_6H_{14}O_6$. Er ist ein sechswertiger Alkohol.

Alle Alkohole zeichnen sich durch die Fähigkeit aus, sich mit Säuren unter Wasserabspaltung gerade so zu vereinigen, wie die Basen, und Verbindungen zu liefern, welche den Salzen an die Seite zu stellen sind. Freilich entstehen diese Verbindungen, welche man als Säureäther bezeichnet hat, nur wenn der Alkohol und die betreffende Säure beide in höchst konzentriertem Zustande zusammengebracht werden; aber abgesehen davon, daß man viele bequeme Methoden besitzt, um diese Säureäther zu bereiten, kommen eine Anzahl von ihnen in der organischen Natur vor und spielen dort eine sehr hervorragende Rolle, andere künstlich bereitete werden vielfach in den Gewerben benutzt. So bereitet man aus dem Glycerin durch vorsichtiges Zusammenmischen desselben mit konzentriertester Salpetersäure das Nitroglycerin, eine ölige, in niederer Temperatur erstarrende Flüssigkeit, welche in festem Zustande schon durch Schlag heftig explodiert, und welche man von Kieselguhr (Infusorienerde), einer sehr lockeren aus den Kieselpanzern von Infusorien bestehenden erdigen Masse, aufsaugen läßt, um so das allbekannte Dynamit zu bereiten. Die Kieselguhr hat bei der Bereitung des Dynamits nur den Zweck, das Nitroglycerin schon bei gewöhnlicher Temperatur, also in flüssigem Zustande, durch Schlag explosiv zu machen, da die ganze Masse wie ein fester Körper sich verhält. Der Zusatz von Kieselguhr, die bei der Explosion sich gar nicht beteiligt, ist nur ein notwendiges Übel. In neuester Zeit ist es gelungen, durch Auflösen von Schießbaumwolle in warmem Nitro-

glycerin eine beim Erkalten erstarrende Masse darzustellen, welche mit größerer Heftigkeit noch wie das Dynamit explodiert und Sprenggelatine genannt wird.

Auch alle eigentlichen Fette, die in jeder Pflanze enthalten als Nahrungsmittel der Tiere eine so hervorragende Bedeutung besitzen, gehören zur Klasse der Säureäther, wie später entwickelt werden soll, nur daß in ihnen als Alkohol stets das Glycerin enthalten ist.

Ferner können die Alkohole unter gewissen Bedingungen leicht oxydiert werden, am leichtesten dann, wenn neben dem Sauerstoffatom an demselben Kohlenstoffatom noch zwei Wasserstoffatome vorhanden sind. Alsdann vereinigen sich bei der Oxydation diese beiden Wasserstoffatome mit einem Sauerstoffatom zu Wasser, welches sich abscheidet und an die Stelle der beiden Wasserstoffatome tritt ein anderes Sauerstoffatom. Wir wollen hier als Beispiel den gewöhnlichen Weingeist anführen, welcher wie wir wissen die Zusammensetzung $CH_3 . CH_2 (OH)$ besitzt. Wird der Weingeist selbst nach Verdünnung mit vielem Wasser mit Chromsäure erwärmt, oder mit einer Auflösung von übermangansaurem Kalium, so erleidet er durch Aufnahme von zwei Sauerstoffatomen und Abspaltung von Wasser die Oxydation

$$CH_3 CH_2 (OH) + 2O = H_2 O + CH_3 CO (OH)$$

zu $CH_3 CO (OH)$. Letztere Verbindung ist die im Essig enthaltene Säure, die Essigsäure. Genau in derselben Weise vollzieht sich die Oxydation bei allen dem Weingeist in chemischer Beziehung ähnlichen Alkoholen, z. B. bei den Alkoholen, die in ihrer Gesamtheit als Fusel bezeichnet werden. Stets entstehen hierbei Säuren.

Es dürfte nicht ohne Interesse sein, an dieser Stelle zu erwähnen, daß der Essig, den wir in so großem Maßstab darstellen, auf zwei völlig voneinander verschiedenen Wegen gewonnen wird. Der eine besteht darin, daß man Holz in langen weiten geschlossenen Thoncylindern, welche keinen Luftzutritt, wodurch eine Verbrennung eintreten würde, gestatten, bis zum

Glühen erhitzt, die dabei sich entwickelnden Gase durch eine lange Reihe aufrecht stehender eiserner Röhren leitet, um die glühenden Gase sich abkühlen und alle die Produkte, welche bei gewöhnlicher Temperatur nicht gasförmig sind, sich verdichten zu lassen. Die gasförmig bleibenden Stoffe, hauptsächlich Kohlensäure, Kohlenoxyd, Wasserstoff, Grubengas ꝛc. sind mit hellleuchtender Flamme brennbar und werden unter die Cylinder geleitet, um dort als Brennmaterial zum Heizen der Cylinder Verwendung zu finden, während die verdichteten Stoffe in unter den eisernen Röhren befindlichen Behältern sich ansammeln und in zwei Schichten sich teilen. Die untere tiefbraunschwarze, sehr dickflüssige Schicht wird als Holztheer bezeichnet, die obere, etwas hellere, aber auch braunschwarze, leichter flüssige und zum größeren Teil aus Wasser bestehende Schicht führt den Namen Holzessig und enthält ca. 6 Proc. Essigsäure, außerdem Holzgeist und andere Verbindungen. In rohem Zustande wird der Holzessig nur wenig zu medizinischen Zwecken verwendet, dagegen stellt man aus ihm die reine wasserfreie Essigsäure und den Holzgeist her. Da nämlich die Essigsäure eine Säure ist, sich demnach wie wir oben S. 147 erfahren haben, mit Basen zu Salzen vereinigt, so kann man die Säure leicht von allen anderen im rohen Holzessig enthaltenen Stoffen trennen, indem man zu demselben so lange kohlensaures Natrium, d. h. Soda, hinzufügt, bis die Flüssigkeit anfängt, rotes Lakmuspapier zu bläuen. Dabei bildet sich unter Aufbrausen, unter Entweichen von Kohlensäure, essigsaures Natrium, welches in der großen Menge des vorhandenen Wassers gelöst bleibt. Man destilliert nun die Flüssigkeit. Mit dem Wasser destillieren der Holzgeist und die anderen im rohen Holzessig enthaltenen nicht sauren Stoffe über, während das essigsaure Natrium als feste Salzmasse zurückbleibt. Dieser Salzrückstand wird vorsichtig weiter erhitzt, bis er schmilzt, um manche nicht flüssige, denselben verunreinigende Stoffe durch die hohe Temperatur, welche zum Schmelzen des essigsauren Natriums erforderlich ist, zu zerstören, darauf in Wasser gelöst, die Lösung

wieder verdampft und der zurückbleibende Salzrückstand abermals bis zum Schmelzen erhitzt. Das nach dem Schmelzen erkaltete Salz wird zur Bereitung der wasserfreien Essigsäure mit konzentrierter Schwefelsäure versetzt, wobei sich schwefelsaures Natrium und freie Essigsäure bilden, und letztere abdestilliert. Die wasserfreie Essigsäure erstarrt bei niederer Temperatur zu einer großkrystallinischen, eisähnlichen Masse, man nennt sie daher Eisessig. Sie besitzt einen sehr stark stechenden Geruch und zieht auf der Haut Blasen.

Die zweite Methode deren man sich zur Darstellung des Essigs bedient, beruht auf der Oxydation des Weingeistes. Um diese Oxydation zu bewerkstelligen bedient man sich aber nicht chemischer Mittel, etwa der Chromsäure oder dergleichen, sondern der Lebensthätigkeit eines kleinen Pilzes, des Essigpilzes, dessen Keime ebenso wie die des Hefepilzes zwar weit verbreitet sind, so daß weingeisthaltige Flüssigkeiten, wie Wein, Bier, von selbst allmählich sauer werden, d. h. eine Oxydation des Weingeists zu Essigsäure eintreten lassen. Bei der Bereitung des Essigs wartet man aber nicht auf das Hineinfallen dieser Keime in die weingeisthaltige Flüssigkeit, sondern fügt den Essigpilz direkt hinzu. Es wird nämlich durch große Fässer, welche mit sorgfältig zusammengerollten Buchenholzspähnen gefüllt sind, und welche über dem eigentlichen unteren Boden noch einen siebartig durchlochten unteren, ebenso einen siebartig durchlochten oberen Boden besitzen, zuerst sogenannte Essigmutter, d. h. eine von einem alten Essigfaß herrührende an Essigpilz reiche Flüssigkeit, hindurchsickern gelassen und dann ununterbrochen verdünnter Weingeist aufgegossen. Da hierbei zur Oxydation des Weingeistes sehr viel Sauerstoff verbraucht wird, so stellt man einen kräftigen Luftzug durch die Fässer dadurch her, daß dicht über dem unteren und dicht unter dem oberen Siebboden derselben ein Kranz von Löchern eingebohrt ist, so daß die Luft durch die untere Löcherreihe in das Faß eindringen und durch die obere Reihe aus dem Faß austreten kann. Der gewöhnliche

Speiseessig enthält etwa 3—5 Proc., der Essigsprit 6—7 Proc. Essigsäure.

Die übrigen der Essigsäure ähnlichen Säuren werden, soweit sie nicht in der Natur (z. B. als Bestandteil der Fette) vorkommen, durch Oxydation der ihnen entsprechenden Alkohole dargestellt.

Wir haben oben erfahren, daß die Alkohole sich leicht mit Säuren zu den Säureäthern vereinigen. Wenn z. B. Essigsäure oder besser noch essigsaures Natrium mit Weingeist und Schwefelsäure versetzt wird, so erwärmt sich die Masse, und es destilliert der bekannte erfrischend riechende Essigäther über. Die aus den Fuselalkoholen durch Oxydation mit Chromsäure darstellbaren Säuren geben mit eben diesen, an sich unangenehm und erstickend riechenden Alkoholen derartige Säureäther, welche sich durch ihren angenehmen fruchtartigen Geruch auszeichnen, nnd man stellt diese Säureäther in großem Maßstabe her, um sie sowohl in der Parfümerie zu verwerten, namentlich aber um sie als Surrogate unter dem Namen Essenzen (Birnessenz, Ananasessenz u. dergl.) für die Liqueurfabrikation ꝛc. anzuwenden.

Die wichtigsten Säureäther sind, wie oben schon bemerkt, die Fette. Im Tierkörper kommen dieselben stets in flüssigem Zustande, in Form sehr kleiner von einer dichtschließenden eiweißartigen Hülle umgebenen Tröpfchen vor und erstarren nach dem Tod des Tieres mehr oder minder leicht. Es sind nämlich alle natürlich vorkommenden Fette Gemische von wenigstens drei Fettarten, d. h. den Glycerinverbindungen dreier Säuren komplizierter Zusammensetzung. Von diesen drei Fettarten sind zwei bei gewöhnlicher Temperatur fest, die dritte flüssig. Da nun das Verhältnis aller drei zu einander sehr stark wechselt, im Nierenfett der Rinder und Schafe die flüssige Fettart nur in geringer Menge vorhanden ist, während dieselbe in dem Rückenfett der Schweine schon in beträchtlicher Quantität vorhanden ist, so hängt die mehr oder minder leichte Schmelzbarkeit und

damit auch die geringere oder größere Härte des Fettes lediglich von diesem Mischungsverhältnis ab.

Alle Säureäther werden durch Kochen mit Kalilauge oder mit Natronlauge zersetzt, indem das Salz der betreffenden Säure und der Alkohol in freiem Zustande entstehen. Kocht man z. B. Essigäther mit Natronlauge, so bildet sich essigsaures Natrium und Weingeist. Kocht man ein Fett mit Natronlauge, so entstehen die Natriumsalze der in den Fetten als Bestandteile enthaltenen Säuren und Glycerin. Wenn wir die in den Fetten enthaltenen Säuren schlechtweg mit dem Namen Fettsäuren belegen, so können wir den Vorgang der Zersetzung der Fette durch Kali- oder Natronlauge kürzer bezeichnen durch den Satz: Es entsteht Glycerin und fettsaures Salz. Fettsaures Kalium und fettsaures Natrium werden seit langer Zeit in großem Maßstabe dargestellt, man nennt beide Seifen. Fettsaures Kalium, d. h. das Gemisch der Kaliumsalze der in einem jeden Fett als Glycerinäther vorkommenden verschiedenen Säuren, besitzt eine weiche schmierige Konsistenz, man bezeichnet es deshalb als Schmierseife, während fettsaures Natrium hart ist und unsere Hartseife bildet. Wie Kali- und Natronlauge wirken alle Basen auf Säureäther und naturgemäß auch auf Fette zersetzend ein. Aber alle fettsauren Salze sind mit Ausnahme der Kalium- und Natriumsalze in Wasser völlig unlöslich, und gerade die Wasserlöslichkeit verleiht unseren Seifen ihren Wert. So werden beispielsweise die Fette auch durch Kochen mit Bleioxyd und Wasser zersetzt, neben Glycerin entsteht hierbei fettsaures Blei, das ist unser gewöhnliches Heftpflaster. Da alle fettsauren Salze mit Ausnahme des Kalium- und Natriumsalzes unlöslich sind, so entsteht auf Zusatz einer Seifenlösung zur Lösung eines Calciumsalzes ein Niederschlag. Unser Brunnenwasser enthält, wie früher ausgeführt worden ist, schwefelsaures und kohlensaures Calcium in kleiner Menge gelöst (beide bedingen bekanntlich die Härte des Wassers), folglich bringt Brunnenwasser in Seifenlösung einen Niederschlag (Calciumsalze der Fettsäuren) hervor. Wo man, wie beim Wäschewaschen

große Mengen von Seifenlösung braucht, wendet man deshalb möglichst weiches Wasser an.

Wie von den eigentlichen, dem Weingeist ähnlichen Alkoholen, leiten sich von den mehrwertigen Alkoholen ebenfalls Säuren her, welche entweder einmal oder mehrmals in der Molekel statt zweier Wasserstoffatome des Alkohols ein Sauerstoffatom enthalten. Wir wollen als Beispiel nur den Alkohol CH_2 OH. CH_2 OH anführen. Von diesem können zwei Säuren durch Oxydation entstehen, die erste, indem das eine CH_2 OH in CO OH oxydiert wird, die zweite, indem diese Oxydation zweimal sich vollzieht, die beiden Säuren würden dann CH_2 (O H). CO OH (oder $C_2H_4O_3$) und CO (OH), CO (OH) (oder $C_2H_2O_4$) zusammengesetzt sein. Die zweite dieser beiden Säuren kommt als Kaliumsalz und als Calciumsalz in allen Pflanzen vor, namentlich ist im Sauerklee das saure Kaliumsalz in reichlicher Menge enthalten, weshalb dasselbe als Kleesalz schlechtweg bezeichnet worden ist, während die Säure selbst den Namen Kleesäure oder (von Oxalis d. h. Klee abgeleitet) Oxalsäure erhalten hat. Beiläufig sei bemerkt, daß diese Säure eine Zeitlang durch Kochen von Zucker mit Salpetersäure dargestellt wurde und daß sie von dieser Zeit her im Handel den falschen Namen Zuckersäure trägt. Die Kleesäure ist übrigens eine zweibasische Säure.

Dergleichen mehrbasische Säuren verschiedenster Zusammensetzung kommen im Pflanzenreiche vielfach vor, hier sei nur an die in den Äpfeln, Birnen ꝛc. enthaltene Äpfelsäure, an die in den Weintrauben vorkommende Weinsäure und an die in den Früchten der verschiedenen Citrusarten sich findende Citronensäure erinnert.

Schließlich sei noch kurz erwähnt, daß ebenso wie von den gesättigten Kohlenwasserstoffen durch Austausch eines oder mehrerer Wasserstoffatome gegen ein mit einem Atom H verbundenes Sauerstoffatom Alkohole und von diesen wiederum Säuren sich herleiten, auch von den ungesättigten Kohlenwasserstoffen

sich Alkohole und Säuren ableiten. Jedoch mögen dieselben, da deren Besprechung uns zu weit führen würde, hier übergangen werden.

Die Methoden deren man sich zur Darstellung der verschiedenen Verbindungen bedient, sind naturgemäß sehr zahlreich, trotzdem läßt sich der größere Teil derselben unter wenige Gesichtspunkte zusammenfassen. Man benutzt fast stets die große Anziehungskraft einzelner Elemente oder Atomkomplexe zu einander und bewirkt dadurch eine Umlagerung der Atome zu neuen Molekeln. So besitzen beispielsweise Kalium, Natrium, Silber und einige andere Metalle sehr große Anziehungskraft zum Chlor, Brom und Jod, wenn man daher etwa essigsaures Natrium und Methylchlorid (CH_3Cl) miteinander erwärmt, so entstehen Chlornatrium und essigsaures Methyl. Oder wenn man Methylchlorid mit Kaliumhydrat erhitzt, so erhält man Chlorkalium und Methylhydrat CH_3OH d. i. nichts anderes als Holzgeist.

Es ist oben S. 194 kurz erwähnt worden, daß der gasförmige Kohlenwasserstoff CH. $CH = C_2H_2$ die Fähigkeit besitzt, unter gewissen Umständen, nämlich durch sehr hohe Temperatur, sich zu einer dreimal so großen Molekel zusammenzuballen und eine bei gewöhnlicher Temperatur flüssige Verbindung $C_6H_6 = 3\,C_2H_2$ zu liefern. Diese letztere Verbindung ist nun von sehr hoher Bedeutung für die Erkenntnis einer sehr großen Zahl von teils in der Natur vorkommenden teils künstlich dargestellten höchst wichtigen Substanzen geworden, da man erkannt hat, daß dieselben von jener entweder direkt oder indirekt dargestellt und andererseits in jene wieder übergeführt werden können. Sie sind als Abkömmlinge der Verbindung C_6H_6 aufzufassen. Eine große Zahl dieser Substanzen zeichnet sich durch ihren Wohlgeruch aus, und man hat deshalb die ganze Klasse dieser Verbindungen als aromatische Verbindungen bezeichnet. Die aromatischen Stoffe lassen sich von der Verbindung C_6H_6 in ähnlicher Weise ableiten, wie die bisher erwähnten Stoffe vom Grubengas. Der Grundstoff C_6H_6, welcher ursprünglich als Benzol oder Benzin

bezeichnet worden war, trägt jetzt, nachdem der zweite Name für die leichter flüchtigen Bestandteile des Petroleums in Anspruch genommen worden ist, nur die Bezeichnung Benzol. Zuerst aufgefunden unter den Produkten, welche beim Erhitzen des Benzoëharzes mit Kalk sich bilden, hat es später, als es als nicht unerheblicher Bestandteil des Steinkohlenteers entdeckt worden war, für die Industrie eine hohe Bedeutung dadurch erlangt, daß aus ihm durch einfache chemische Operationen in großer Zahl die schönen Farbstoffe, welche als Anilinfarbstoffe bekannt sind, hergestellt werden. Das Benzol, welches eine bei 80° kochende, in Wasser völlig unlösliche, nicht angenehm riechende Flüssigkeit ist, unterscheidet sich dadurch sehr wesentlich von den bisher besprochenen Kohlenwasserstoffen, daß in ihm die einzelnen Wasserstoffatome sehr leicht durch andere Stoffe ausgetauscht werden können. So löst sich das Benzol, welches leichter ist als Wasser und auf demselben schwimmt, unter Erwärmung in starker Salpetersäure, und wenn man nach einiger Zeit zu dieser Lösung Wasser hinzufügt, so scheidet sich ein schweres zu Boden sinkendes Öl ab, welches einen bittermandelartigen, in keiner Weise mehr an Benzol erinnernden Geruch besitzt und als Surrogat für Bittermandelöl unter dem Namen Mirbanöl in der Parfümerie Verwendung findet. Durch den Zusatz von Salpetersäure zu Benzol wird nämlich ein Wasserstoffatom des letzteren abgespalten, dieses Wasserstoffatom verbindet sich mit einem Sauerstoff- und einem Wasserstoffatom der Salpetersäure zu Wasser, und an seine Stelle tritt der gebliebene Rest der Salpetersäuremolekel. Die Salpetersäure ist, wie oben S. 143 ausgeführt worden ist, HNO_3, ziehen wir davon HO ab, so bleibt der Rest NO_2, ein mit zwei Sauerstoffatomen verbundenes Stickstoffatom. Andererseits bleibt vom Benzol C_6H_6 nach Austritt eines Wasserstoffatoms der molekulare Rest C_6H_5, und dieser verbindet sich mit NO_2 zu $C_6H_5NO_2$. Letztere Verbindung läßt sich sehr leicht wieder durch Zink und Salzsäure, Zinn und Salzsäure, kurz durch alle Mischungen,

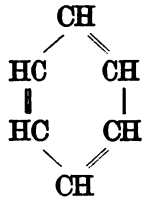
welche Wasserstoff zu entwickeln vermögen, in der Weise verändern, daß die beiden Sauerstoffatome sich mit Wasserstoff zu Wasser vereinigen und der Stickstoff seinerseits mit noch zwei Wasserstoffatomen zu NH_2 sich vereinigt, so daß die Verbindung $C_6H_5NH_2$ resultiert. Letztere ist aber nichts anderes als das bekannte Anilin. Sie ist frisch dargestellt eine farblose, beim Stehen am Licht sich schnell gelb, schließlich braun färbende, unangenehm riechende, bei 185° siedende Flüssigkeit, welche unter gewissen Bedingungen in Farbstoffe übergeführt werden kann.

Ferner löst sich das Benzol, wenn man es mit starker Schwefelsäure schüttelt, allmählich in dieser Flüssigkeit auf. Setzt man alsdann zur klaren Lösung Wasser, so scheidet sich nichts ab. Es ist nämlich hierbei eine in Wasser leicht lösliche eigentümliche Säure entstanden C_6H_5, SO_3H. Da die Schwefelsäure H_2SO_4 zusammengesetzt ist, so vollzieht sich die Bildung der erwähnten Säure genau in derselben Weise, wie die Entstehung des $C_6H_5NO_2$ aus Benzol und Salpetersäure: es tritt nämlich ein Wasserstoffatom des Benzols aus dessen Molekel aus, vereinigt sich mit Sauerstoff und Wasserstoff der Schwefelsäure zu Wasser und läßt den Rest der Schwefelsäuremolekel (SO_3H) an seine Stelle treten:

$$C_6H_5\,H + HO\,SO_3H = H_2O + C_6H_5SO_3H.$$

Wir sehen demnach, daß die Wasserstoffatome des Benzols sehr leicht gegen andere Stoffe ausgetauscht werden können und es ist daher einleuchtend, daß vom Benzol eine sehr große Zahl von anderen Verbindungen dargestellt werden kann. Zum besseren Verständnis dieser Verbindungen möge hier erwähnt werden, welche Vorstellung die Chemiker von der Aneinanderreihung der sechs Kohlenstoffatome mit ihren sechs Wasserstoffatomen in der Benzolmolekel augenblicklich haben. Es wird nämlich angenommen, jedes der sechs Kohlenstoffatome sei mit einem Wasserstoff verbunden, es sei also eine vollkommen gleichförmige Verteilung der 6 H in der Molekel vorhanden und die sechs C ihrer-

seits seien untereinander ringförmig verbunden, wie folgendes Schema ergiebt:

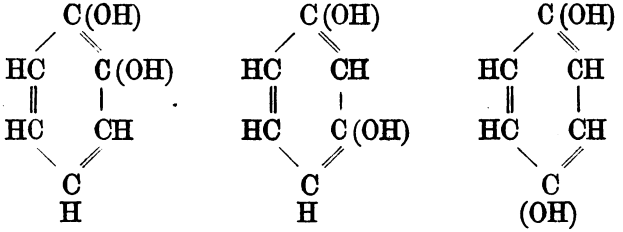


d. h. ein jedes Kohlenstoffatom hängt mit zwei benachbarten Atomen in der Weise zusammen, daß es mit dem einen einfach, mit dem anderen doppelt verbunden ist. Wir dürfen jedoch nicht vergessen, daß dieses Schema lediglich von den gefundenen Eigentümlichkeiten bei den aus dem Benzol dargestellten Stoffen eine Anschauung geben soll, nicht etwa, daß die Benzolmolekel thatsächlich eine derartige Form habe. Denn über die Gestalt der Molekeln wissen wir absolut nichts. Das bezeichnete Schema stellt uns die sechs Wasserstoffatome als völlig gleichberechtigt dar, so daß also, wenn eins von den sechs H durch irgend welches andere Element oder durch irgend welchen Atomkomplex, z. B. durch Cl, OH, NO_2, SO_3H, CH_3 ꝛc. ꝛc., ausgetauscht wird, es völlig gleichgültig ist, welches der 6 H diesem Austausch unterworfen wird, d. h. daß alsdann stets eine und dieselbe Verbindung resultiert. Es kann daher nur ein einziges C_6H_5Cl, ebenso ein einziges C_6H_5OH, nur ein $C_6H_5NO_2$ u. s. w. geben, und bis jetzt hat man trotz eifrigsten Suchens nur je ein Derivat des Benzols durch Ersetzung eines Wasserstoffs durch irgend welche Gruppen von Atomen darzustellen vermocht.

Anders schon gestaltet sich das Verhältnis, wenn zwei Wasserstoffatome des Benzols durch zwei anderweitige Elemente oder Atomgruppen ersetzt werden. Denn hierbei sind drei Fälle möglich.

1) Zwei benachbarte Kohlenstoffatome, oder 2) zwei durch ein C getrennte Kohlenstoffatome, oder 3) zwei einander gegenüberstehende Kohlenstoffatome lassen ihre beiden Wasserstoffatome

durch irgend ein Element oder eine Gruppe von Atomen ersetzen. Als Beispiel wollen wir den Ersatz der zwei Wasserstoffatome durch OH annehmen. Alsdann sehen wir die drei Möglichkeiten des Austausches in folgendem Schema veranschaulicht:



In der That sind drei derartige Verbindungen $C_6H_4(OH)_2$ bekannt, und in gleicher Weise kennt man von Hunderten von Derivaten des Benzols, bei denen für 2 Benzolwasserstoffatome irgend zwei Atome oder Atomgruppen vorhanden sind, je drei gleich zusammengesetzte, in ihren Eigenschaften jedoch verschiedene Verbindungen.

Dasselbe wiederholt sich, sobald drei oder vier Wasserstoffatome des C_6H_6 anderweitig ausgetauscht sind, nur daß, sobald dieser Austausch durch eine und dieselbe Atomgruppe erfolgt, stets drei, anderenfalls aber weit mehr gleich zusammengesetzte in ihren Eigenschaften aber verschiedene Verbindungen möglich sind.

Interessant ist, daß die den früher besprochenen Alkoholen entsprechenden Verbindungen, d. h. diejenigen, in welchen statt eines oder mehrerer Wasserstoffatome des Benzols OH vorhanden ist, ganz andere Eigenschaften besitzen, wie die Alkohole, namentlich dadurch, daß sie sich wie schwache Säuren verhalten, also mit Basen leicht zu Salzen sich vereinigen. So ist die erste derartige Substanz, C_6H_5OH, die allbekannte Carbolsäure, welche für die Medizin wegen ihrer desinfizierenden Kraft eine so hohe Bedeutung gewonnen hat. Man kann zwar die Carbolsäure aus dem Benzol auf indirektem Wege gewinnen, allein da sie in reichlicher Menge im Steinkohlenteer enthalten

ist, ist es weit bequemer, sie aus diesem darzustellen. — Es braucht kaum erwähnt zu werden, daß die drei gleich zusammengesetzten Verbindungen $C_6H_4(OH)_2$ ebenso wie die Carbolsäure schwach saure Eigenschaften besitzen, ferner diejenigen Verbindungen, welche an Stelle von drei Benzolwasserstoffatomen drei OH enthalten. Von letzteren wird eine, die als Pyrogallussäure oder Pyrogallol bezeichnet wird, in der Photographie vielfach verwendet.

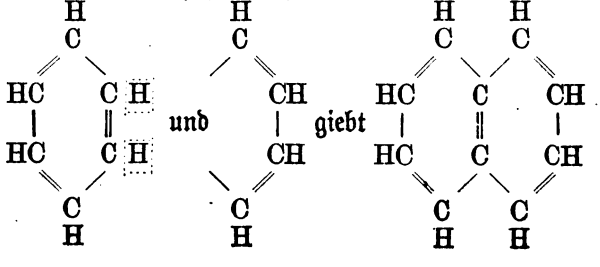
Von Wichtigkeit für den Aufbau kohlenstoffreicherer Verbindungen ist gerade so wie bei den früher entwickelten Verbindungsreihen die Thatsache, daß die Wasserstoffatome des Benzols durch Methyl, Äthyl ꝛc. mit großer Leichtigkeit ausgetauscht werden können. Derartige Verbindungen (Methylbenzol $C_6H_5CH_3$, Dimethylbenzol $C_6H_4(CH_3)_2$, Trimethylbenzol $C_6H_3(CH_3)_3$ bis Hexamethylbenzol $C_6(CH_3)_6$, ferner Äthylbenzol $C_6H_5C_2H_5$ ꝛc.) sind in sehr großer Anzahl künstlich dargestellt worden, kommen aber zum Teil in dem Steinkohlenteer neben Benzol selbst vor. Zu ihrer Darstellung benutzt man mehrere Methoden, von denen hier nur zwei erwähnt werden sollen. Wird z. B. Brombenzol, C_6H_5Br, welches man sehr leicht durch Zusammenstehenlassen von Benzol mit Brom gewinnen kann, mit Jodmethyl vermischt und die Flüssigkeit mit metallischem Natrium erwärmt, so entsteht Bromnatrium und Jodnatrium und Methylbenzol, wie aus der Gleichung $C_6H_5Br + CH_3J + 2Na = NaBr + NaJ + C_6H_5CH_3$ leicht verständlich ist. Nun kann man statt des Jodmethyls Jodäthyl anwenden und so Äthylbenzol darstellen ꝛc. Noch leichter aber gelangt man zu diesen Kohlenwasserstoffen, wenn man Benzol mit Chloraluminium versetzt und mit Chlormethyl, Chloräthyl ꝛc. erwärmt.

Es braucht kaum erwähnt zu werden, daß in den so gewonnenen Kohlenwasserstoffen sowohl die noch im ursprünglichen Benzol vorhandenen Wasserstoffatome wie die im Methyl, Äthyl ꝛc. befindlichen jetzt wieder ersetzt werden können durch irgend welche anderen Elemente oder Atomkomplexe, so daß die

Zahl der solchermaßen vom Benzol hergestellten Stoffe eine außerordentlich große ist.

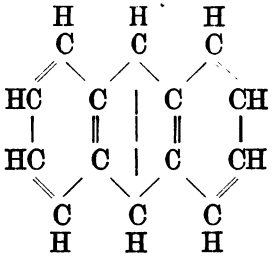
Wir haben oben erfahren, daß das Benzol selbst sich aufbaut durch Aneinanderlagerung von drei CH. CH zu einer Molekel, dem Benzol. Jedoch scheinen überhaupt, wenigstens soweit die Entstehung der Verbindungen bei hohen Temperaturen erfolgt, anscheinend aber auch unter den Bedingungen, welche für die organische Natur Geltung haben, gerade die CH Gruppen in hervorragendem Maße sich zu beteiligen an der Erzeugung der mannigfaltigsten und wichtigsten organischen Stoffe. Es verdient schon erwähnt zu werden, daß Kohlenstoff und Wasserstoff nur unter ganz eigentümlichen Verhältnissen sich direkt miteinander zu verbinden vermögen und nur bei ausnehmend hoher Temperatur, nämlich wenn man zwischen zwei in einer Atmosphäre von Wasserstoff befindlichen Kohlespitzen den elektrischen Flammenbogen erzeugt. Und hierbei entsteht nur eine einzige Verbindung, welche nichts anderes ist als C_2H_2 oder CH. CH.

Wenn man Kohlenwasserstoffe der Grubengasreihe, z. B. Petroleum, Paraffin, durch sehr stark glühende Röhren leitet, so zersetzen sich dieselben unter Entbindung von Wasserstoff zu wasserstoffärmeren Verbindungen und zwar, wie es scheint, mit der Tendenz, gerade solche Kohlenwasserstoffe zu liefern, welche aus einer Anzahl von CH-Gruppen bestehen und bei welchen zum Teil Wasserstoffatome abermals durch CH-Gruppen ersetzt sind. Denken wir uns z. B. in einer Benzolmolekel zwei H durch die gleichwertige Atomgruppe 4 (CH) ersetzt, wie aus folgendem Schema ersichtlich ist,



so erhalten wir eine Verbindung, deren innerer Bau dem des Benzols sehr ähnlich ist, die aus einem Benzol und einem Benzolstück durch Aneinanderschweißung sich aufgebaut hat, eine Verbindung, welche mit dem Benzol große Ähnlichkeit in ihren Eigenschaften besitzen muß, deren Wasserstoffatome mit derselben Leichtigkeit des Austausches fähig sein werden. Und diese Verbindung, welche in der Molekel zehn Kohlenstoff- und acht Wasserstoffatome besitzt, bildet sich thatsächlich in sehr reichem Maße bei starkem Erhitzen einer äußerst großen Zahl organischer Verbindungen, kommt deshalb auch in sehr beträchtlichen Quantitäten im Teer vor. Sie ist das wegen seiner Insekten vertreibenden Kraft neuerdings vielfach verwendete und vielfach genannte Naphtalin. Bei gewöhnlicher Temperatur fest und in schönen, stark glänzenden Blättern krystallisierend, erst bei 80° schmelzend und erst bei 218° destillierend, ist es trotzdem schon bei gewöhnlicher Temperatur so leicht verdunstbar, daß es in nicht unerheblichem Maß mit dem Leuchtgas in die Gasleitungsröhren gelangt und ziemlich häufig zur Verstopfung der Gasmesser Veranlassung giebt.

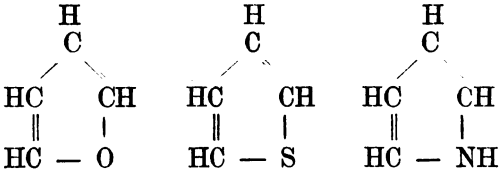
Ferner können in zwei Benzolmolekeln je zwei Wasserstoffatome durch die Atomgruppe CH. CH ausgetauscht sein, und der dadurch entstehende Kohlenwasserstoff würde dann



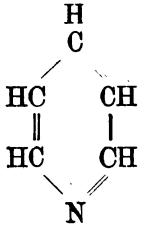
oder $C_{14}H_{10}$ zusammengesetzt sein. Dieser Körper kommt, wenn auch nicht gerade in bedeutender Menge, im Steinkohlenteer vor, heißt Anthracen und ist deshalb von hoher Wichtigkeit, weil sehr viele in dem Pflanzenreiche vorkommenden Stoffe von ihm sich her-

leiten. Von diesen ist der schöne rote in der Krappflanze enthaltene Stoff, das Krapprot oder Alizarin, der hervorragendste, ein Farbstoff, den man jetzt ganz ausschließlich aus dem Anthracen, nicht mehr aus dem Krapp gewinnt.

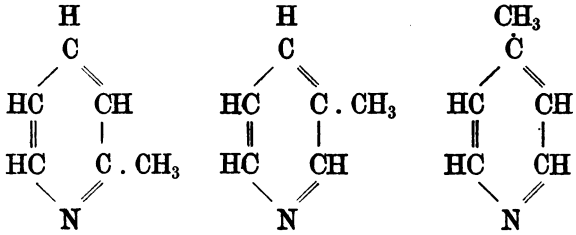
Nun wird die Zahl der aromatischen Stoffe noch dadurch erheblich größer, daß innerhalb der Benzolmolekel auch Austauschungen der CH selbst eintreten können. Es brauchen nämlich nicht je 3 CH. CH zu einer Benzolmolekel sich zusammenzuballen, vielmehr können mit 2 CH. CH oder 4 CH zweiwertige Elemente oder Atomkomplexe zu einer Molekel sich vereinigen, wie aus den folgenden drei Beispielen zu ersehen ist:



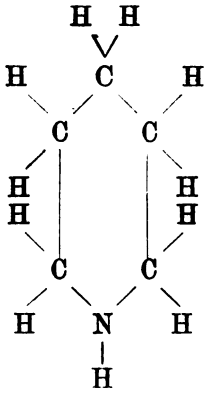
so daß Verbindungen entstehen, welche in ihren wesentlichsten Eigenschaften dem Benzol sehr ähnlich sind. Allein noch eine Modifikation ist möglich und gerade die dadurch entstandene Verbindung für eine sehr große Klasse medizinisch höchst wichtiger Stoffe ebenso als Grundlage zu betrachten, wie das Benzol für die aromatischen Substanzen. Es kann nämlich ein CH des Benzols durch Stickstoff ausgetauscht sein, und die resultierende Verbindung würde durch das Symbol



zu veranschaulichen sein. Dieselbe ist demnach $C_5 H_5 N$ zusammengesetzt und unterscheidet sich vom Benzol dadurch, daß sie eine starke Base ist und sich mit allen Säuren zu Salzen vereinigt. Sie hat den Namen Pyridin erhalten, ist eine eigentümlich riechende, leicht siedende, farblose Flüssigkeit und findet sich in geringer Menge im Steinkohlenteer, in etwas größerer Menge in den sehr übelriechenden teerartigen Produkten, welche man durch Erhitzen tierischer Stoffe, wie Fleisch, Haut, Horn ꝛc. gewinnt. Selbstverständlich sind die in ihr enthaltenen fünf Wasserstoffatome des Austausches fähig, aber schon wenn ein einziges H durch irgend welches andere Element vertreten ist, können drei voneinander verschiedene, wenn auch gleich zusammengesetzte Stoffe entstehen, jenachdem eins von den beiden dem Stickstoff benachbarten H-Atomen, oder ein durch ein H getrenntes oder endlich das gegenüberstehende H in obigem Symbol dem Austausch unterlegen hat, wie aus den drei folgenden Figuren, bei welchen je ein H durch CH_3 ersetzt ist, leicht ersichtlich ist:



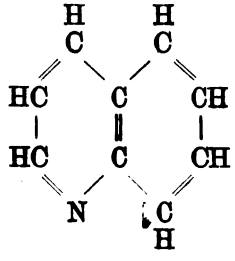
Ferner können leicht das Pyridin und die von ihm durch Austausch eines oder mehrerer Wasserstoffatome durch einwertige Elemente oder Atomkomplexe sich herleitenden Verbindungen, so bald sie unter geeigneten Bedingungen mit Wasserstoff in statu nascente in Berührung sich befinden, noch sechs Wasserstoffatome aufnehmen. Es können nämlich leicht die doppelten Bindungen zu einfachen gelöst werden, so daß mit jedem der fünf Kohlenstoffatome und mit dem Stickstoffatom je ein Wasserstoff sich noch verbinden kann, also:



, das ist $C_5 H_{11} N$.

Derartige wasserstoffreichere Pyridinderivate kommen in der Natur vor, beispielsweise ist gerade $C_5 H_{11} N$ eine im Pfeffer vorkommende Verbindung. Im gefleckten Schierling, Conium maculatum, ist der Träger der stark giftigen Eigenschaften der Pflanze eine als Coniin bezeichnete Flüssigkeit, welche $C_8 H_{17} N$ zusammengesetzt, durch die Formel $C_5 H_{10} (C_3 H_7) N$ ausgedrückt werden kann, d. h. sie ist $C_5 H_{11} N$, in welchem ein H durch den einwertigen Atomkomplex $C_3 H_7$ („Propyl") vertreten ist. Etwas komplizierter, gleichwohl aber zu dieser Verbindungsklasse zählend ist der Träger der narkotischen Wirkung des Tabaks (Nicotiana tabacum), Nicotin genannt $C_{10} H_{14} N_2$.

Ferner können im Pyridin zwei Wasserstoffatome gerade so wie beim Benzol in der Weise ersetzt werden, daß Verbindungen entstehen, die in ihrem Bau dem Naphtalin ꝛc. sich anschließen. Namentlich ist die dem Naphtalin entsprechende Verbindung



von Wichtigkeit, da von ihr die wirksamen Stoffe der Chinarinde, vor allem das Chinin selbst, sich herleiten. Diese Verbindung $C_9 H_7 N$ wurde zuerst auch aus dem Chinin gewonnen und hat daher den Namen Chinolin erhalten. Jetzt stellt man freilich das Chinolin auf chemischem, synthetischem Wege dar.

Zusammenhang der chemischen und physikalischen Erscheinungen.

Auf den vorhergehenden Seiten ist ausgeführt worden, daß die Bewegung der Molekeln physikalische Erscheinungen hervorzurufen vermag. So entsteht der Schall durch Schwingungen der Molekeln fester, flüssiger oder gasförmiger Körper und pflanzt sich durch diese Stoffe bis zu unserem Ohr fort; so sind die Wärme und das Licht nichts anderes, als eine äußerst schnelle Schwingung von Molekeln, die sich durch den Weltenäther bis zu uns fortpflanzt. Dagegen werden chemische Erscheinungen durch die Bewegung der Atome in der Weise erzeugt, daß dieselben voneinander sich lösen, um sofort in anderer, ihren gegenseitigen Anziehungskräften entsprechender Gruppierung zu Molekeln sich zusammenzuballen. Es ist aber leicht verständlich, daß die Atome innerhalb der Molekeln nicht etwa in Ruhe, sondern ihrerseits in steter Bewegung sich befinden. Wenn es erlaubt ist, diese unendlich kleinen Bestandteile aller Stoffe zu vergleichen mit den für unsere Denkkraft fast übergroßen Himmelskörpern, so würden wir in der überall vorhandenen Bewegung im Weltenraum ein unserem Verständnis näher liegendes Beispiel besitzen. Denn wir könnten alsdann die Fixsterne, die Sonnen des Firmaments, vergleichen mit den Molekeln, und die ihre Sonne umkreisenden Planeten mit den Atomen. Die Atome nehmen nicht nur an der Bewegung der Molekeln teil, sie besitzen vielmehr noch ihre eigene, vielleicht ebenfalls komplizierte Bewegung. Wie nun auch die Bewegung der Atome innerhalb der Molekeln be-

schaffen sein mag, so ist doch klar, daß ihr Zusammenhalt nur ihrer gegenseitigen Anziehung zugeschrieben werden muß. Allein diese Anziehung wird durch sehr intensive Schwingungen der Molekeln gelockert, daher finden auch die meisten chemischen Umsetzungen erst in hoher Temperatur statt. Ja noch mehr, wenn die Temperatur sehr hoch, d. h. wenn die Schwingungsintensität der Molekeln sehr groß wird, hört diese gegenseitige Anziehung der Atome in den Molekeln völlig auf. Folglich muß ein jeder zusammengesetzte Körper bei genügend hoher Temperatur durch die Hitze allein in seine elementaren Bestandteile zerfallen. Da die gegenseitige Anziehung der Atome bei den verschiedenen zusammengesetzten Körpern von vornherein sehr verschieden ist, so muß auch die Temperatur, bei welcher die verschiedenen Verbindungen in ihre Elemente sich zerlegen, sehr verschieden sein. So z. B. zerfällt Chlorgold in Chlor und Gold schon bei etwa 250°, dagegen das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff erst bei etwa 3000°. Aber jedenfalls kann es oberhalb einer gewissen Temperatur, die wir zwischen 3000 und 4000° annehmen können, überhaupt keine chemische Verbindung mehr geben. So müssen denn auch in unserer Sonne, deren Temperatur auf circa 8000° berechnet worden ist, alle Stoffe im elementaren Zustande neben einander sich befinden, Wasserstoff neben Sauerstoff, neben Chlor ꝛc., in der Sonne giebt es absolut keine chemische Verbindung. Daß aber die Sonne aus denselben Elementen besteht, wie unsere Erde, werden wir bald näher ausführen können.

Auf Seite 122 dieses Buches haben wir erfahren, daß die Molekeln der Elemente, des Wasserstoffs, des Sauerstoffs, des Stickstoffs ꝛc., ebenfalls aus mehreren sich gegenseitig anziehenden Atomen bestehen, daß die sog. einfachen Stoffe sich nur dadurch von den zusammengesetzten Stoffen unterscheiden, daß in den ersteren die Molekeln aus untereinander identischen, in den letzteren aus untereinander verschiedenen Atomen bestehen. Wie verhalten sich nun die Molekeln der Elemente selbst in sehr hoher Temperatur? In logischer Schlußfolgerung werden wir

annehmen müssen, daß bei genügend hoher Temperatur auch die Atome in den Molekeln der Elementarstoffe ihre gegenseitige Anziehung völlig werden einbüßen und demnach voneinander sich trennen müssen, um als freie Atome nebeneinander zu schwingen. Und das ist auch thatsächlich der Fall. Freilich wird auch hier bei der verschieden großen gegenseitigen Anziehung der Atome bei den verschiedenen Elementen die Temperatur, bei welcher die Auflösung der Molekeln in die einzelnen Atome eintritt, sehr verschieden sein. Schon seit langer Zeit ist es bekannt, daß die Molekeln mancher Metalle, deren Molekulargröße leicht bestimmt werden konnte, weil die betreffenden Metalle, wie das Quecksilber, das Cadmium, das Zink, bei nicht gar zu hoher Temperatur verdampfen, und daher ihr spezifisches Gewicht nach Überführung derselben in den Gaszustand ermittelt werden konnte, nicht wie beim Wasserstoff, Sauerstoff ꝛc. aus je zwei Atomen, sondern aus je einem Atom bestehen. Man hielt früher diese Eigentümlichkeit der untersuchten Metalle für eine unerklärbare Ausnahme, bis man neuerdings fand, daß auch andere Elemente, wie das Brom und das Jod, und namentlich das letztere, dessen Molekeln bei mäßig hoher Temperatur, wie das spezifische Gewicht dieser Stoffe im Gaszustande ergiebt, aus je zwei Atomen besteht, bei sehr hoher Temperatur allmählich sich derart verändern, daß die Molekeln sich in die einzelnen Atome spalten. Leider reichen unsere Mittel, hohe Temperaturen zu erzeugen, nicht hin, um diese Frage für alle Elemente zu entscheiden, denn unsere Heizmittel sind ja nichts anderes, als die Benutzung der Verbrennungswärme, der Verbindungswärme, welche bei der Vereinigung von Kohlenstoff und Wasserstoff mit Sauerstoff hervorgebracht wird. Wir können naturgemäß deshalb nicht eine so hohe Temperatur erzeugen, daß die Molekeln sämtlicher Elemente schließlich in ihre Atome sich spalten. Aber da wir wissen, daß zusammengesetzte Körper bei sehr verschiedenen Temperaturen sich in ihre Bestandteile zerlegen, sind wir zu der Annahme berechtigt, daß auch die ein-

fachen Stoffe bei verschiedenen Temperaturen in ihre Bestandteile sich zerlegen werden. Die einfachen Stoffe bestehen jedoch aus Molekeln, die ihrerseits aus untereinander identischen Atomen zusammengesetzt sind, und es erfordert der Zerfall dieser Molekeln in die einzelnen Atome bei manchen Elementen, wie beim Quecksilber, beim Cadmium, beim Zink, eine verhältnismäßig wenig, bei anderen Elementen eine sehr hohe, vorläufig von uns unerreichbare Temperatur.

Im Sonnenball, so werden wir schließen müssen, giebt es nicht nur keine zusammengesetzten Stoffe, sondern alle Sonnenstoffe sind auch in ihr nicht, wie auf der Erde als Molekeln, sondern als freie Atome vorhanden. —

Nicht nur vermehrte Schwingungsintensität, also Erwärmung innerhalb gewisser Grenzen, vermag die Atome in den Molekeln zu veranlassen, sich umzulagern zu neuen Molekeln, d. h. chemische Erscheinungen hervorzurufen, wie wir beispielsweise S. 174 gesehen haben, daß namentlich der Sauerstoff bei der Verbrennung sich mit Kohlenstoff und mit Wasserstoff nur in der Glühhitze zu vereinigen vermag, sondern es kann auch starke Beleuchtung, also Vermehrung der Schwingungsgeschwindigkeit, bisweilen chemische Veränderungen bewirken. So z. B. vereinigt sich Chlor mit Wasserstoff sofort und unter starker Explosion, wenn ein Gemisch beider Gase nur einen Augenblick dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt wird. Und hier sind es gerade die am stärksten brechbaren Lichtstrahlen, d. h. diejenigen, bei denen die Teilchen des Weltenäthers am schnellsten schwingen, welche diese chemische Wirkung hervorrufen. Aber nicht nur manche Verbindungen entstehen durch die Einwirkung der Lichtstrahlen, sondern auch manche Zersetzungen finden infolge der Lichtwirkung statt. Und auch hier sind es wiederum vornehmlich die violetten und ultravioletten Lichtstrahlen, wie bereits auf S. 89 auseinandergesetzt worden ist, denen derartige chemische Wirkungen zukommen. Daher kommt es, daß diese Wirkung vor allem erfolgt durch direktes Sonnenlicht, welches

sehr reich an violetten und ultravioletten Strahlen ist, daß dieselbe auch wenn auch in etwas vermindertem Maße erfolgt durch elektrisches Licht, durch Magnesiumlicht, daß sie aber durch Lampenlicht nur in minimalem Maße statthat, weil letzteres zwar reich an gelben und roten, aber arm an violetten und namentlich an ultravioletten Strahlen ist. Für die Gewerbe und für die Wissenschaft ist von hervorragendster Bedeutung geworden die Zersetzung von Chlorsilber, Bromsilber und Jodsilber durch das Licht. Schon im vergangenen Jahrhundert war es bekannt, daß das rein weiße, durch Versetzen einer Höllensteinlösung (salpetersaures Silber) mit einer Kochsalzlösung sofort in käsigen Flocken sich ausscheidende Chlorsilber beim Stehen am Licht in kurzer Zeit sich färbt, um schließlich dunkelviolett zu werden. Und bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts hat man vielfach versucht, diese Eigenschaft des Chlorsilbers für Herstellung von Zeichnungen nutzbar zu machen, indem man Kupferplatten mit einer dünnen Silberschicht überzog und dann Chlordämpfen aussetzte. Dadurch bildete sich auf der Platte eine dünne Schicht von Chlorsilber. Eine solche, vollkommen weiße Platte wurde mit einem Blatt Papier, auf welchem sich irgend eine Zeichnung befand, bedeckt und dem Sonnenlicht ausgesetzt. Durch das Papier selbst drang, wenn auch sehr geschwächt, etwas Licht bis zur Platte durch, nicht aber dort, wo die Linien der Zeichnung sich befanden, so daß allmählich alle Stellen unter dem weißen Papier sich dunkel färbten, während die Linien der Zeichnung auf der Platte weiß blieben. Aber eine derartig hergestellte Zeichnung auf einer lichtempfindlichen Platte mußte nach Entfernung des Papiers aufs Sorgfältigste vor Licht geschützt aufbewahrt werden, und doch hat sich allmählich aus diesen ersten rohen Anfängen unsere Photographie entwickelt. Daguerre fand nämlich durch Zufall, daß Chlorsilber, welches selbst kürzere Zeit dem Licht ausgesetzt, „belichtet“ worden ist, so daß direkt eine Wirkung des Lichtes in keiner Weise wahrzunehmen ist, fähig wird, fein verteiltes Quecksilber

(Queckſilberdämpfe) und fein verteiltes metalliſches Silber anzuziehen und feſtzuhalten, ſo daß eine mit Chlorſilber bedeckte Platte, auf welche das Sonnenlicht kurze Zeit gewirkt hat, wenn man ſie Queckſilberdämpfen ausſetzt, oder mit einer Löſung von ſalpeterſaurem Silber begießt und durch irgend ein Mittel aus dieſer Löſung metalliſches Silber erzeugt, nach dem Waſchen mit Waſſer an denjenigen Stellen, auf welche das Sonnenlicht eingewirkt hat, das Queckſilber oder Silber zurückhält. Da nun alle Metalle in feinſt verteiltem Zuſtande ſchwarz ausſehen, ſo erſcheinen die vom Licht getroffenen Stellen der Platte dunkel. Nun iſt aber Chlorſilber ſehr leicht löslich in einer Auflöſung von unterſchwefligſaurem Natrium, wenn man daher eine Chlorſilberplatte, nachdem man auf dieſe Weiſe „das Bild hervorgerufen“ hat, mit einer Löſung von unterſchwefligſaurem Natrium übergießt, ſo wird alles Chlorſilber von ihr entfernt, und es bleibt nur das Bild zurück. Die Platte iſt jetzt nicht mehr lichtempfindlich. Später hat man gefunden, daß Bromſilber und Jodſilber noch lichtempfindlicher ſind als Chlorſilber und iſt in neueſter Zeit dahin gelangt, ſo äußerſt lichtempfindliche Platten herzuſtellen, daß eine Belichtung von weniger als einer hundertſtel Sekunde hinreicht, um ſchließlich ſcharfe Bilder zu erhalten. Es iſt hier nicht der Ort, um auf die Einzelheiten der Photographie einzugehen, hier ſei nur nach Erörterung des Prinzips die Methode, welche zur Herſtellung des Bildes führt, kurz erwähnt.

Auf Glasplatten bringt man Gelatinelöſung, in welcher in höchſt fein verteiltem Zuſtande Chlorſilber ſich befindet, läßt möglichſt langſam die Gelatine antrocknen und erhält ſo ſehr lichtempfindliche Platten. Selbſtverſtändlich geſchieht die Herſtellung der Chlorſilbergelatine, das Trocknen und Aufbewahren der Platten im Dunkeln. Auf dieſen Platten wird in der Dunkelkammer das Bild irgend eines beleuchteten Gegenſtandes vermittelſt achromatiſcher Linſen entworfen, dann wird dieſelbe mit ſalpeterſaurer Silberlöſung und mit Pyrogallusſäurelöſung über-

gossen. Die Pyrogallussäure erzeugt aus dem salpetersauren Silber metallisches Silber, welches auf der ganzen Fläche der Platte in feinst verteiltem Zustande sich niederschlägt, aber nur an den vom Licht getroffenen Stellen fest haftet. Die Platte wird nun mit Wasser abgespült. So hat man das Bild „hervorgerufen", welches dunkel auf hellem Grunde erscheint. Man übergießt darauf, wenn das Bild kräftig genug hervortritt, die Platte mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natrium, löst dadurch sämtliches Chlorsilber auf, wäscht sie gut ab, läßt sie trocknen und überzieht sie zum Schutz mit einem Lack. Von diesem sog. Negativ stellt man auf mit Chlorsilber überzogenen Papierplatten das positive Bild her. —

Wir haben aus dem Vorhergehenden ersehen, daß Wärme und Licht aus den Bestandteilen die betreffenden Verbindungen erzeugen und umgekehrt, daß durch diese beiden physikalischen Kräfte Verbindungen zersetzt werden.

Aber viel wichtiger noch ist die Thatsache, daß durch chemische Kräfte physikalische Erscheinungen hervorgerufen werden. Fast jede chemische Veränderung ist mit Wärmeentwickelung verknüpft. Wenn wir, wie oben S. 48 auseinandergesetzt worden ist, einen festen Körper in einer Flüssigkeit auflösen, so findet Abkühlung der Flüssigkeit statt, weil bei der Auflösung der feste Stoff seinerseits sich verflüssigt und alle Körper beim Übergange aus dem festen in den flüssigen Zustand Wärme verbrauchen, die sie, sobald von außen her keine Wärmezufuhr stattthat, der umgebenden Flüssigkeit entziehen. So z. B. tritt eine sehr erhebliche Abkühlung des Wassers ein, wenn wir darin krystallisiertes Chlorcalcium auflösen. Das in Wasser äußerst leicht lösliche Chlorcalcium enthält, wenn es aus Wasser allmählich krystallisiert, beträchtliche Mengen von Krystallwasser. Dieses Letztere kann man durch Erhitzen des Salzes auf ca. 200° vollständig wieder entfernen. Aber wenn man derartig völlig wasserfrei gemachtes Chlorcalcium in Wasser löst, tritt keine Abkühlung sondern Erwärmung des Wassers ein. Das kommt

daher, daß beim Auflösen des wasserfreien Chlorcalciums dieses sich zunächst wieder mit der zugehörigen Menge Wasser (für eine jede Molekel des Salzes mit sechs Molekeln Wasser) chemisch verbindet und nun sich löst. Durch diese chemische Vereinigung des Chlorcalciums mit Wasser wird aber eine so erhebliche Wärmemenge erzeugt, daß sie trotz der durch das Flüssigwerden des festen Salzes in Anspruch genommenen Wärme sich noch geltend zu machen vermag, denn die beim Lösen des wasserfreien Chlorcalciums in Wasser eintretende Erwärmung entspricht nur dem Überschuß der durch die chemische Reaktion erzeugten über die durch die Verflüssigung des festen Salzes verbrauchte Wärmemenge.

Ferner vereinigen sich alle Säuren mit Basen zu Salzen unter Wärmeentwickelung. Namentlich aber findet die Vereinigung aller Elemente untereinander zu Verbindungen unter Wärmeentwickelung statt. Und fast alle unsere Methoden, höhere Temperaturen zu erzeugen, unsere künstlichen Wärmequellen, beruhen auf chemischen Reaktionen. Die Heizung unserer Öfen geschieht ja lediglich durch die Wärmeentwickelung, welche die Verbrennung unserer Heizmaterialien, d. h. die Vereinigung des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs mit Sauerstoff zu Kohlensäure und Wasser, bewirkt.

Andererseits ist bekannt, daß durch Wärme mechanische Arbeit geleistet werden kann, vor allem dadurch, daß durch Erwärmen Wasser in Dampf übergeführt wird, und dieser durch seinen Druck die verschiebbare Wand (den Kolben) des allseitig geschlossenen Raumes, in welchem er sich befindet, in Bewegung setzt. Durch gesteigerte Intensität der Bewegung der Molekeln können demnach Massen in Bewegung gesetzt werden. Andererseits kann durch Bewegung von Massen Wärme erzeugt werden, so durch Reibung zweier Körper gegeneinander. Wir sehen demnach, daß die Bewegung der Atome (chemische Bewegung) in Bewegung der Molekeln (physikalische Bewegung), diese wiede-

rum in Bewegung der Massen (mechanische Bewegung) übergeführt werden kann und umgekehrt.

Es erübrigt nur noch, eine auf S. 88 besprochene Erscheinung etwas näher auszuführen. Wie dort auseinandergesetzt worden ist, beobachtet man, wenn man Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt und dann durch ein Prisma hindurchgehen läßt, statt des schmalen Spaltbildes einen breiten farbigen Streifen, (das Spektrum) welcher von einer großen Zahl dunkler Linien durchsetzt ist. Diese dunklen Linien bedeuten selbstverständlich nichts anderes, als daß im Sonnenlicht Strahlen von verschiedener Brechbarkeit nicht, oder wenigstens nicht in gleicher Intensität wie die anderen, vorhanden sind, daher erscheinen an den betreffenden Stellen die Spaltbilder in Form dunkler Linien.

Andererseits beobachtet man, wenn Sonnenlicht oder künstliches Licht durch farbige Gläser oder gefärbte Flüssigkeiten hindurchgehen und dann ein Prisma passieren, daß das Spektrum entweder zum Teil völlig aufgehoben, oder zwar in seiner vollen Breite sichtbar, aber an einzelnen Stellen von dunklen breiten Bändern durchsetzt ist. Das heißt aber nichts anderes, als daß die gefärbten Gläser oder Flüssigkeiten nicht etwa nur für einfarbiges Licht durchsichtig und für alle anderen Lichtstrahlen undurchsichtig sind, sondern daß sie für eine Reihe von Strahlen zwar undurchsichtig, für die anderen im Sonnenlicht vorhandenen Bestandteile des weißen Lichts durchsichtig sind, und daß wir nur die aus all den letzteren Strahlen entstehende Mischfarbe bei den gefärbten durchsichtigen Stoffen sehen. Genau ebenso verhält es sich mit jedem anderen gefärbten Körper. Ein solcher nämlich reflektiert einen Bruchteil sämtlicher ihn treffenden Strahlen, während er den anderen Teil derselben absorbiert. Immer aber ist es nicht einfaches, einfarbiges Licht, was wir erhalten.

Ganz anders aber ist es, wenn wir unter gewissen Bedingungen Gase zum starken Glühen, also zum Selbstleuchten bringen. So ist beispielsweise allbekannt, daß der mit blauer,

nicht leuchtender Flamme brennende Spiritus sofort mit intensiv gelber Flamme zu brennen beginnt, sobald man etwas Kochsalz auf den Docht der Spirituslampe bringt. Nicht nur das Kochsalz (Chlornatrium), sondern auch das Glaubersalz (schwefelsaures Natrium), die Soda (kohlensaures Natrium), der Borax (borsaures Natrium), überhaupt alle Natriumsalze zeigen dieselbe Erscheinung. Betrachtet man eine solche gelbe Flamme durch ein Prisma, so erscheint sie zwar abgelenkt, aber man beobachtet keine weitere Farbenerscheinung, sie bleibt auch nachdem ihre Strahlen durch ein Prisma hindurchgegangen sind, rein gelb. Und wenn man die Strahlen der gelben Flamme durch einen schmalen Spalt und dann durch ein Prisma hindurchgehen läßt, so sieht man nicht ein farbiges Spektrum, sondern eine schmale gelbe helle Linie, das Bild des Spaltes. Die gelbe Natriumflamme enthält demnach thatsächlich nur einfaches, in keine weiteren Farben mehr zerlegbares Licht. — Bringt man eine kleine Menge der Chlorverbindung des etwas selteneren Metalles Lithium in die nicht leuchtende Flamme der Bunsenschen Lampe (S. 181), so erscheint die Flamme lebhaft rot gefärbt, und auch dieses Licht erscheint durch ein Prisma betrachtet, einfarbig. Jedoch haben wir nur wenige Mittel, um derartig einfarbiges Licht zu erzeugen. Allein wenn auch solche gefärbte Flammen meist nicht eine einzige Farbe enthalten, so sind sie doch stets aus verhältnismäßig wenigen Farben gemischt. Daher kommt es, daß, sobald man ihr Licht durch einen schmalen Spalt und dann durch ein Prisma hindurchgehen läßt, man nur einige helle, verschiedenfach gefärbte Linien, die Bilder des Spaltes, welche je nach der Brechbarkeit der Strahlen an verschiedenen Stellen erscheinen, wahrnimmt. Es erscheint das Spektrum der farbigen Flammen aus einzelnen Linien bestehend, wie aus Fig. 60 ersichtlich ist. Die Fig. 60 zeigt das Spektrum einer durch ein Kalksalz gefärbten Flamme, die Linien a bis g sind rot, orange und grün in verschiedenen Nüancierungen, h ist violett. Man hat im Laufe weniger Jahre die Flammenspektren fast sämtlicher

Elemente untersucht und dabei gefunden, daß mit Ausnahme sehr weniger Elemente die hellen Linien, welche ihre Flammen zeigen, genau an derselben Stelle sich befinden, wo im Sonnenspektrum dunkle Linien vorhanden sind. So z. B. zeigt Eisen, welches man in dem Flammenbogen des elektrischen Lichts verdampft, etwa 300 helle Linien im Spektrum, die sämtlich genau mit dunklen Linien des Sonnenspektrums zusammenfallen, während das Blei, in gleicher Weise verdampft, eine Anzahl heller Linien im Spektrum zeigt, von denen keine einzige mit Fraunhoferschen Linien zusammenfällt. Das kann doch wohl nicht Zufall sein. Da fand man eine andere optische Thatsache, die mit einem Male eine einfache Erklärung dieser auffallenden Erscheinung zuließ. Es zeigte sich nämlich, daß eine jede Flamme

Fig. 60.

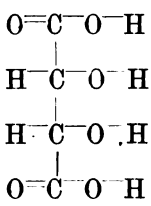
alle Arten von Strahlen, welche sie selbst nicht aussendet, ungehindert durch sich hindurchgehen läßt, hingegen alle diejenigen Lichtstrahlenarten, welche sie ihrerseits aussendet, vollständig absorbiert, oder mit anderen Worten, daß eine jede Flamme für diejenigen Strahlengattungen, welche sie ausstrahlt, ganz undurchsichtig, für alle anderen völlig durchsichtig ist. Wenn z. B. eine mit Kochsalz getränkte Spiritusflamme, welche nur einfarbiges gelbes wenig intensives Licht ausstrahlt, zwischen eine sehr intensive Lichtquelle, wie elektrisches Licht, welches weiß ist, also Strahlen jeglicher Brechbarkeit aussendet, und den Spalt, welchen man durch ein Prisma beobachtet, einschaltet, so gelangen in den Spalt durch die Kochsalzflamme hindurch alle Strahlen des elektrischen Lichts mit Ausnahme der gelben Strahlen, welche die Kochsalzflamme selbst

aussendet, und man beobachtet ein sehr helles Spektrum aller Farben von Rot bis Violett, nur an die Stelle, wo man bei Beleuchtung durch die Kochsalzflamme allein eine helle gelbe Linie wahrnehmen würde, gelangt kein Licht von der elektrischen Flamme, sondern lediglich das schwache Licht der Kochsalzflamme. Daher ist diese Stelle weit weniger hell als die benachbarten Teile des Spektrums und erscheint als dunkle Linie auf hellem Grunde, genau so wie im Sonnenspektrum. Damit war die Lösung des Rätsels, woher die das Spektrum des Sonnenlichts durchsetzenden dunklen Linien stammen, gegeben. Die Sonne besteht aus einer sehr stark leuchtenden weißglühenden (wahrscheinlich flüssigen) Kugel, von deren Oberfläche die verschiedensten Elemente, die sämtlich in der Sonne wegen der äußerst hohen Temperatur im freien Zustande sich befinden, verdampfen und als glühende Gashülle, als selbstleuchtende Atmosphäre den Sonnenball umgeben. Folglich muß das zur Erde gelangende Sonnenlicht zunächst diese glühende, aber mit weit schwächerem Lichte leuchtende Sonnenatmosphäre durchdringen. In dieser aber werden alle Lichtstrahlen derjenigen Brechbarkeit, welche sie selbst aussendet, absorbiert und bei der Zerlegung des weißen Sonnenlichts durch ein Prisma in die einzelnen farbigen Lichtarten erhalten wir Strahlen von sehr verschiedener Intensität. Diejenigen, welche der Sonnenball selbst uns zusendet und welche die Sonnenatmosphäre ungehindert durchdringen, sind sehr intensiv, diejenigen dagegen, welche lediglich von der Sonnenatmosphäre herkommen, bei weitem schwächer. Letztere werden daher im Spektrum viel dunkler erscheinen als erstere, wir sehen dunkle Linien auf hellem Grunde (vergl. S. 88 Fig. 44). Wir sind demnach imstande, vermittelst der Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum genau zu bestimmen, welche Elemente in der Sonnenatmosphäre, d. h. schließlich auch im Sonnenball, enthalten sind.

Aber die eingehende Untersuchung der Lage der hellen farbigen Linien, die bei der Betrachtung von Flammen, in welchen

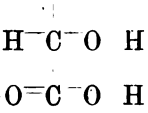
irgend welche Stoffe im Dampfzustande zum Glühen gebracht werden, im Spektrum erscheinen, hat auch zur Entdeckung einer großen Anzahl von neuen Elementen geführt. Denn da von jedem Element nur ein fest bestimmtes Spektrum erhalten werden kann, so ist es klar, daß wenn ein Gemenge verschiedener Stoffe im Gaszustande zum Glühen gebracht und das Licht durch ein Prisma beobachtet wird, im Spektrum des Gemenges sämtliche Linien der einzelnen Elemente neben einander auftreten werden. Sobald nun diese Linien nicht sämtlich als von bereits bekannten Elementen herrührend zurückzuführen sind, liegt die Vermutung nahe, daß die neu auftretenden Linien einem oder mehreren noch nicht bekannten Elementen zuzuschreiben sind, und man sucht alsdann durch die mannigfachsten Methoden diese neuen Elemente aus dem Gemenge zu isolieren. Seit der Anwendung der Spektralanalyse durch Bunsen und Kirchhoff ist es Bunsen selbst gelungen, auf diesem Wege zwei dem Kalium sehr ähnliche Elemente, das Rubidium und Cäsium, ferner Crooks, das Thallium, Richter das Indium, Lecoq de Boisbaudran das Gallium u. s. f. aufzufinden und zu isolieren. —

Eine andere rein optische Erscheinung, die auf S. 96 erwähnte Drehung der Polarisationsebene, hat im Laufe der Zeit sich gleichfalls in innigem Zusammenhang mit der chemischen Natur der die Drehung bewirkenden Substanz herausgestellt. Bei den sehr vielen organischen Verbindungen, welche im flüssigen Zustande (die festen Stoffe, wenn sie in irgend einer Flüssigkeit gelöst sind) die Polarisationsebene nach rechts oder links abzulenken vermögen, hat man nämlich ein gemeinsames charakteristisches Merkmal in bezug auf die gegenseitige Bindung der Atome in den Molekeln aufgefunden. In allen nämlich existiert wenigstens ein Kohlenstoffatom, dessen vier Anziehungskräfte durch vier verschiedene Elemente oder Atomkomplexe neutralisiert sind. So z. B. ist die im Weinstein enthaltene Säure nebst allen ihren Salzen rechtsdrehend, die Zusammensetzung der Säure ist $C_4 H_6 O_6$ oder

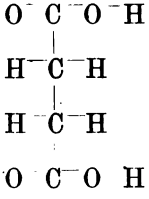


Betrachten wir jedes der beiden mittleren Kohlenstoffatome genauer, so finden wir, daß eine Anziehungskraft desselben durch Wasserstoff: H, eine zweite durch: —O—H, eine dritte durch:

und die vierte endlich durch den Komplex



gesättigt ist. Dagegen würde die Verschiedenheit in der Sättigung der vier Anziehungskräfte sofort schwinden, wenn wir folgende Verbindung, welche sich nur wenig von der Weinsäure unterscheidet, betrachten:



Es ist dies die im Bernstein vorkommende Säure, die Bernsteinsäure $C_4H_6O_4$. Hier sind an jedem mittleren Kohlenstoffatom je zwei Anziehungskräfte durch Wasserstoff neutralisiert, also in identischer Weise, es kann deshalb die Bernsteinsäure auf die Ebene des polarisierten Lichts keinen Einfluß ausüben.

So sehen wir denn, wie die Schwingungen der Molekeln die Bewegung der Atome bis zur Umgruppierung veranlassen können, wie physikalische Erscheinungen chemische Veränderungen

veranlassen können, wie ferner die physikalischen Erscheinungen zuweilen von der chemischen Natur der Stoffe, sowohl der elementaren (bei den Spektralerscheinungen) wie der zusammengesetzten Stoffe (bei den Polarisationserscheinungen) abhängig sind, und wenn wir die leichte Umwandlung der Atombewegung in Molekularbewegung und dieser in Massenbewegung, d. h. chemischer Kraft in physikalische und mechanische Kraft zugleich in Betracht ziehen, so erkennen wir leicht, daß das Wesen der Kraft an sich in der Bewegung beruht. Daher kann auch weder an Kraft irgend etwas gewonnen oder verloren werden, wenn auch die Ausnutzung der Kraft mehr oder weniger für unsere Zwecke vorteilhaft geschehen kann. Eine Kugel von 100 kg Gewicht läßt sich leichter fortrollen, als eine ebenso schwere Platte sich fortschleifen läßt. Aber was wir an Kraft für die Fortbewegung der Platte mehr anwenden müssen, was durch die Reibung der Platte mit dem Boden scheinbar an Kraft verloren geht, wird in Wärme umgewandelt, die wir freilich in diesem Falle nicht ausnutzen können. Das ist jedoch für die Gesamtbetrachtung der in der Natur waltenden Kräfte gleichgültig.

In dem vorliegenden Büchlein ist eine Naturkraft nicht eingehender berücksichtigt worden, weil wir noch nicht mit Gewißheit das Wesen derselben kennen, die Elektrizität. Aber die Wirkungen dieser Kraft zeigen, daß dieselbe in hohem Maße energisch ist und sich auf die Atome in den Molekeln erstreckt. Denn wenn wir den elektrischen Strom durch irgend einen zusammengesetzten Stoff hindurchgehen lassen, dessen Molekeln leicht beweglich sind, der also flüssig oder gasförmig ist, so geschieht dies immer unter Zersetzung des Stoffes. Eine Flüssigkeit oder ein Gas, welche durch den elektrischen Strom nicht zersetzt werden, lassen auch denselben nicht durch sich hindurchgehen. Dabei scheidet sich der eine Bestandteil der Verbindung stets an der einen, der zweite an der anderen Eintrittstelle des elektrischen Stroms in die Flüssigkeit aus. Wenn wir z. B. in ein mit

Kochsalzlösung gefülltes Glas einen Kupferstab und einen Zinkstab so hineinstellen, daß sie die Flüssigkeit überragen und innerhalb der Flüssigkeit sich nicht berühren, alsdann entsteht sofort ein elektrischer Strom, sobald die beiden Stäbe außerhalb der Flüssigkeit durch einen Metallstreifen miteinander in Berührung gebracht werden. In demselben Moment zerlegt sich das Kochsalz mit einer der Intensität des Stromes entsprechenden Geschwindigkeit, indem sich Chlor an der Zinkplatte, Natrium an der Kupferplatte bildet. Freilich können wir in diesem Falle weder den einen noch den anderen Bestandteil als solchen in freiem Zustande auffinden, weil jedes an dem Zinkstab sich abscheidende Chloratom sofort mit dem Zink zu Chlorzink sich vereinigt, ebenso jedes Natriumatom sofort, da es mit dem Wasser der Kochsalzlösung in Berührung ist, dieses zersetzt und Wasserstoff erzeugt, allein wir können mit Leichtigkeit den Versuch so abändern, daß wir die aus der Verbindung entstehenden Bestandteile thatsächlich in freiem Zustande erhalten.

Wir sehen demnach, daß die Elektrizität chemische Erscheinungen hervorruft, auch sie muß auf einer Bewegung der Atome beruhen, allein welcher Art diese Bewegung bei der Entstehung und bei der Fortpflanzung dieser Kraft ist, ferner ob die Fortpflanzung durch den Weltenäther oder durch irgend ein anderes Mittel geschieht, davon wissen wir bis jetzt noch nichts. Darum ist auch das Wesen dieser, zwischen den rein physikalischen und den rein chemischen Kräften stehenden, von beiden Arten aber sich wesentlich unterscheidenden Kraft nicht näher ausgeführt worden.

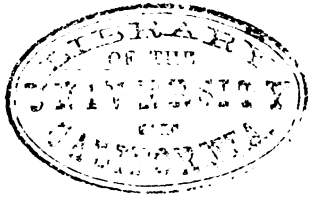
Zum Schluß kann daher wiederholt werden: Alle Erscheinungen in der Natur, alle Veränderungen sind, so weit wir ihr Wesen bis jetzt haben ermitteln können, durch Bewegungsänderungen bedingt. Die Bewegung kann sich erstrecken auf die Gesamtmasse der Körper, sie kann eine Bewegung der Molekeln oder der Atome sein. Aber in jedem Falle wird leicht die eine Art in die andere umgewandelt, und wir können demnach getrost sagen: Es giebt nur eine Urkraft, welche die gesamten

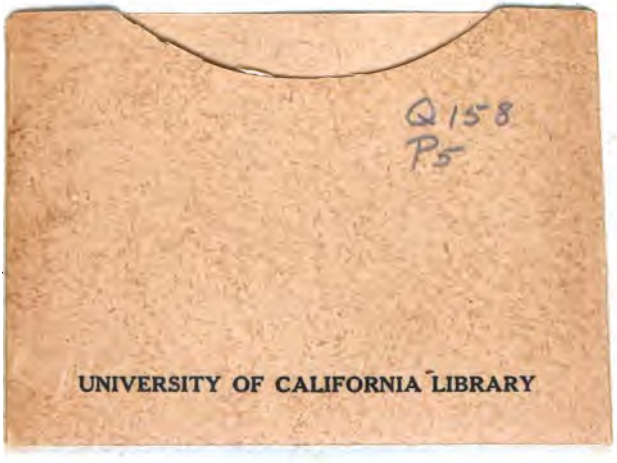
Naturerscheinungen hervorruft, und das ist die Bewegung, die in dem Weltenraum vorhandene Bewegung, die von den Massen auf die Molekeln, von diesen auf die Atome übergehen kann und umgekehrt, und der Umwandlung der Bewegungsform verdanken wir sämtliche Naturerscheinungen. Es ist gerade die Aufgabe der Naturwissenschaften, die Bedingungen ausfindig zu machen, unter denen die Bewegungsform sich ändern kann.

Register.

Ablenkung des Lichts 81.
Aggregatzustände 4.
Alizarin 214.
Alkalien 166.
Alkalische Erden 167.
Alkohol 197.
Analyse 169.
Anilin 208.
Anthracen 213.
Anziehungskraft 10.
Äther 60.
Ätherwellen 70.
Atome 7.
Atomgewicht 120.
Atomwärme 136.
Auftrieb 24.
Ausdehnung der Körper 38.
Avogadros Hypothese 44.
Barometer 27.
Basen 147.
Beharrungsvermögen 28.
Benzol 207.
Bewegung 8.
Bild, virtuelles 72.
— wirkliches 74.
Brechung der Lichtstrahlen 75.
Calorien 135.
Carbolsäure 210.
Carrés Eisapparat 51.
Centripetalkraft 33.
Chemische Schreibweise 130.
Chemische Umsetzungen 124
Chemischer Wert der Elemente 148.
Chinolin 217.
Chlor 109.
Coniin 216.
Dimethyl 191.
Dispersion des Lichts 85.
Doppelbrechung 91.
Druck 17.
Dynamit 199.
Eisessig 202.
Elemente 112.
— Tabelle der 139.
Entstehungszustand 172.
Essenzen 203.
Essigäther 203.
Essigpilz 202.
Essigsäure 200.
Fallgesetze 29.
Farbenzerstreuung 85.
Flamme 177.
Fortpflanzung des Drucks in Flüssigkeiten 23.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls 67.
Fraunhofersche Linien 88.
Fusel 198.
Galvanisches Element 105.
Gaslampe 181.
Gay-Lussacsches Gesetz 39.
Glaselektrizität 102.
Glycerin 198.
Gravitation 10.
Grenzwinkel 78.
Grubengas 173.
Harzelektrizität 102.
Hebel 19.
Holzessig 201.
Holzgeist 189.
Kältemischungen 51.
Kohäsion 40.
Kohlenstoffverbindungen, gesättigte 196.
— ungesättigte 197.
Kohlenwasserstoffe 191.
Kleesäure 205.
Kräfte 5, 9.
Lebenskraft 102, 185.
Luftwellen 65.
Mannit 198.
Mariottesches Gesetz 42.

Massenteilchen 6.
Methyl 191.
Mirbanöl 207.
Molekeln 6.
Naphtalin 213.
Natrium 111.
Nicolsches Prisma 94.
Nicotin 216.
Nitroglycerin 199.
Nullpunkt, absoluter 37.
Oxalsäure 205.
Paraffine 196.
Pendelgesetze 31.
Periodisches System 161.
Photographie 222.
Polarisation des Lichts 93.
Polarisationsapparat 97.
Prinzip von der Erhaltung der Kraft 99.
— von der Erhaltung des Stoffs 116.
Prisma 80.
— achromatisches 87.
Pyridin 215.
Reflexion des Lichts 70.
Salze 147.
— basische 158.
— saure 154.
Sauerstoff 107.
Säureäther 199.
Säuren 144.
Schmelzwärme 49.
Schwere 17.
Schwerpunkt 19.
Schwingungen der Molekeln 34.
Schwungkraft 33.
Seifen 204.
Siedepunkt, absoluter 47.
Spektroskop 87.
Spektrum 83.
— glühender Gase 226.
Spezifische Wärme 134.
Sprenggelatine 200.
Status nascens 172.
Stickstoff 110.
Synthese 169.
Tangentialkraft 33.
Temperaturpunkt, kritischer 47.
Tonhöhe 67.
Umlagerung der Atome 123.
Verbindungsgewicht 120.
Verbrennung 176.
Verdampfungswärme 49.
Verzeichnis der Elemente 139.
Wärme 35.
Wärmeeinheit 135.
Wärmespektrum 89.
Wasserstoff 107.
Wasserwellen 60.
Wellenberge 64.
Wellenlänge 65.
Wellenthäler 64.
Weltenäther 60.
Zersetzung des Wassers 106.
Zuckersäure 205.
Zusammendrückbarkeit der Gase 40.
Zusammengesetzte Stoffe 112.



Druck von Greßner & Schramm in Leipzig.

YB 17555